



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA



ESTUDIO SOBRE UNA AUTOPISTA ELÉCTRICA EN CANTABRIA: ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PESADO POR CARRETERA

**Research about an electric highway in Cantabria:
Heavy road transport electrification**

Para acceder al título de:
Graduado en Ingeniería de los Recursos Energéticos

Realizado por:
ÁNGEL TOMÁS RÍOS SANTA CRUZ

Dirigido por:
RAÚL HUSILLOS RODRÍGUEZ

Septiembre 2019

*La ingeniería no es sino el arte de organizar
y dirigir a los hombres, y de controlar las
fuerzas y los materiales de la naturaleza en
beneficio de la raza humana.*

Henry Stott

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo mis agradecimientos a D. Raúl Husillos Rodríguez, profesor doctor de Proyectos de Ingeniería, Gestión de Proyectos de Inversión Minera y Laboreo, por su gran esmero, dedicación, y apoyo que ha mostrado durante la realización de mi trabajo; a pesar de su apretada agenda, ha sido todo un referente, me ha mostrado nuevas vías para mi desarrollo tanto personal como educativo y profesional, y fue su ímpetu el que hizo dedicarme con tanta labor a la consecución de este estudio.

Del mismo modo, quiero dar las gracias a D. Rubén Pérez Álvarez, por todo su tiempo invertido en resolver mis dudas, y enseñarme aquellos pequeños detalles que faltaban por pulir en la redacción de este documento; a D. Juan Carcedo Haya, por responder de forma rauda a mis correos sobre la plausibilidad de semejante proyecto; a D. Juan Carlos Canteras Jordana, por proporcionarme toda la información sobre la dimensión ambiental que ahora posee este estudio, y, en general, a toda la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, que en estos cuatro años ha servido de hogar para mí, acogiéndome y dándome su apoyo de la mano de todos sus integrantes.

En personal estima deseo agradecer el apoyo de mi familia; a mi padre, por enseñarme la importancia de las cosas bien hechas, a mi madre, por darme todo su apoyo y cariño, y a mi hermano, por confiar y creer en mí en todo momento. No puedo agradecer de mayor modo su esfuerzo en darme la educación y los valores que ahora me definen como la persona que ahora soy.

En último lugar, y no por ello menos importante, doy mis gracias a todos los amigos y compañeros, de dentro y fuera de esta Escuela, quienes han aportado su grano de arena a ser quien soy, han brindado su apoyo y su alegría, me hicieron madurar como persona, estudiante y compañero, y a los que, tras mi paso por la universidad, me será imposible olvidar.

A todos vosotros, muchas gracias.

Ángel Tomás Ríos Santa Cruz

Palencia, a 24 de julio de 2019

RESUMEN

La sociedad actual crece a un ritmo imparable, y supone un reto del presente siglo solventar los problemas que precisa; uno de ellos consiste en el desafío que representa el transporte de mercancías, un factor que contribuye actualmente a la emisión de gases de efecto invernadero, y que necesita una actualización con los estándares de economía sostenible y electrificación que gobiernos y ciudadanos reclaman hoy en día.

Es por ello por lo que se crea este estudio, como una respuesta ante la nascente necesidad de impulsar una serie de alternativas frente a los actuales modos de transporte pesado por carretera, basándose en la evaluación y puesta en juicio de las diferentes soluciones que se ofrecen a día de hoy en la consecución de un sistema como el que aquí se plantea.

Dentro de las opciones existentes, el presente documento hace exclusivo énfasis en aquéllas que se adaptan de mejor modo al transporte de mercancías por carretera, descartando los esfuerzos realizados en otros sectores, como el automovilístico de turismos, autobuses... y centrándose en las tres vías que, a lo largo del estudio, se estudian en sus dimensiones técnica, ambiental, social y económica.

Para entender cómo se ha llegado a estas soluciones, se reserva una parte del presente estudio para la documentación y archivo de las diferentes alternativas planteadas desde los inicios de la electrificación de vehículos carreteros, empezando con el trolebús en 1882, pasando por los sistemas de asistencia por trole en pleno siglo XX, hasta desembocar en las ofertas de electrificación existentes a día de hoy.

Del mismo modo, se hace un profundo y exhaustivo análisis del medio en el que se pretende colocar la infraestructura necesaria para la ejecución de la solución propuesta, pasando por un análisis demográfico, histórico y sectorial de cada región afectada, así como un examen de las infraestructuras de transporte ya existentes, tanto por tierra, mar y aire, previendo las sinergias de éstas con la futura instalación propuesta.

A lo largo de todo este documento, una metodología de trabajo queda definida, que marca y orquesta las pautas y pasos precisos para la correcta ejecución del estudio, en un orden prescriptivo, donde la constante recepción de información deriva en una evolución constante de la redacción del trabajo propuesto.

Con el fin de dotar de validez a las propuestas estudiadas para su posible posterior ejecución, se diseña un hipotético caso, en el que, aprovechando la futura necesidad de transporte de zinc entre la histórica localidad de Reocín y el Puerto de Santander, se estudian las diferentes soluciones analizadas en el estado del arte, frente a una situación de referencia, de tal modo que se enmarque un análisis financiero que cuantifique el esfuerzo y el beneficio realizados y derivados de la implantación de cada una de las alternativas enumeradas.

En los últimos apartados del presente estudio, se detallan los aspectos más relevantes de la solución, adaptada a la infraestructura vial existente, dimensionándola y estableciendo los requisitos mínimos que aquélla necesitaría para su correcto desarrollo y establecimiento.

Palabras clave: autopista eléctrica, eHighway, electrificación, infraestructura vial, minería del zinc, Reocín, sostenibilidad, transporte pesado por carretera.

OVERVIEW

Today's society is growing at an unstoppable rate, and it is a challenge of this century to solve the problems it needs; one of them is the challenge posed by the transport of goods, a factor that currently contributes to the emission of greenhouse gases, and which needs to be updated with the standards of sustainable economy and electrification that governments and citizens demand today.

It is for this reason that this study is redacted as a response to the nascent need to promote a series of alternatives to the current modes of heavy road transport, based on the evaluation and judgement of the different solutions that are offered today in the achievement of a work such as the one proposed here.

Within the existing options, the present document places exclusive emphasis on those that best adapt to the transport of goods by road, discarding the efforts made in other sectors, such as cars, buses... and focusing on the three routes that, throughout the study, are studied in their technical, environmental, social and economic dimensions.

In order to understand how these solutions have been arrived at, a part of this study is reserved for the documentation and archiving of the different alternatives proposed from the beginnings of the electrification of road vehicles, starting with the trolleybus in 1882, passing through the trolleybus assistance systems in the middle of the 20th century, up to the end of the electrification offers existing today.

In the same way, a deep and exhaustive analysis is made of the environment in which it is intended to place the necessary infrastructure for the execution of the proposed solution, going through a demographic, historical and sectorial analysis of each affected region, as well as an examination of the already existing transport infrastructures, both by land, sea and air, foreseeing the synergies of these with the future proposed installation.

Throughout this document, a work methodology is defined, which marks and orchestrates the guidelines and precise steps for the correct execution of the study, in a prescriptive order, where the constant reception of information derives in a constant evolution of the wording of the proposed work.

In order to give validity to the solutions studied for their possible subsequent execution, a hypothetical case is designed, in which, taking advantage of the future need to transport zinc between the historic town of Reocín and the Port of Santander, the different solutions analysed in the state of the art are studied, as opposed to a reference situation, in such a way that a financial analysis is framed that quantifies the effort and the benefit made and derived from the implementation of each one of the alternatives listed.

In the last sections of this study, the most relevant aspects of the solution, adapted to the existing road infrastructure, are detailed, dimensioning it and establishing the minimum requirements that it would need for its correct development and establishment.

Keywords: *electric highway, eHighway, electrification, road infrastructure, zinc mining, Reocín, sustainability, heavy road transport.*

ÍNDIX

1	Prólogo	11
2	Objeto y alcance	16
2.1	<i>Objeto</i>	16
2.2	<i>Alcance</i>	17
3	Estado del arte	18
3.1	<i>Historia de la electrificación del transporte pesado: desde el siglo xix hasta el xxi</i>	18
3.1.1	Primeros pasos: el Elektromote	18
3.1.2	Primera mitad del siglo XX: los trolecamiones en minería y obra civil	21
3.1.2.1	Proyecto de la Valtelina (1938)	21
3.1.2.2	Explotación cementera de Riverside (1956)	22
3.1.3	Segunda mitad del siglo XX: sistema de asistencia por trole	24
3.1.3.1	Mina de Quebec-Cartier (1970)	24
3.1.3.2	Palabora mining e ISCOR mining (1980)	26
3.2	<i>Sistemas de electrificación del transporte pesado actuales</i>	28
3.2.1	Alimentación mediante línea aérea de contacto	29
3.2.1.1	Fundamento	29
3.2.1.2	Desarrollo: proyecto ENUBA, eHighway y ELISA	31
3.2.2	Alimentación por conductor soterrado	34
3.2.2.1	Fundamento	34
3.2.2.2	Desarrollo: eRoad Arlanda y VästSvenska Elvågar	36
3.2.3	Alimentación por inducción	37
3.2.3.1	Fundamento	37
3.2.3.2	Desarrollo: sistema PRIMOVE	39
3.3	<i>Conclusiones del estado del arte</i>	41
4	Metodología	44
5	Descripción de la zona de estudio	49
5.1	<i>Situación geológica</i>	49
5.2	<i>Situación socioeconómica</i>	51
5.2.1	Gobierno y administración	51
5.2.2	División territorial y entorno sociodemográfico	51
5.2.2.1	Santander	52
5.2.2.2	Santa Cruz de Bezana	55
5.2.2.3	Piélagos	58
5.2.2.4	Polanco	60
5.2.2.5	Torrelavega	62
5.2.3	Infraestructuras	66
5.2.3.1	Transporte por carretera	66
5.2.3.2	Transporte por ferrocarril	69
5.2.3.3	Transporte marítimo	71
5.2.3.4	Transporte aéreo	74
5.2.3.5	Red eléctrica	75
5.3	<i>Situación medioambiental</i>	82
5.3.1	Clima	82
5.3.1.1	Temperatura y pluviometría	82
5.3.1.2	Régimen de vientos	84
5.3.2	Hidrografía	86
5.3.3	Medio biótico	87
5.3.3.1	Flora	87
5.3.3.2	Fauna	88
5.3.3.3	Lugares de notable biodiversidad	89
5.4	<i>Síntesis de la descripción de la zona de estudio</i>	94

6	Análisis de alternativas	98
6.1	<i>Alternativa cero</i>	102
6.1.1	Viabilidad técnica	102
6.1.1.1	Consumo energético y emisiones	102
6.1.1.2	Madurez de la tecnología	103
6.1.1.3	Resistencia ante inclemencias y accidentes	103
6.1.1.4	Adaptación a la infraestructura	103
6.1.1.5	Obra necesaria	104
6.1.1.6	Escalabilidad	104
6.1.1.7	Capacidad	104
6.1.2	Impacto ambiental	104
6.1.2.1	Conservación del paisaje	104
6.1.2.2	Conservación de la flora	104
6.1.2.3	Conservación de la fauna	104
6.1.2.4	Conservación de la hidrología	105
6.1.2.5	Conservación de la conectividad territorial	105
6.1.2.6	Impacto durante fase de diseño y construcción	105
6.1.2.7	Impacto durante fase de operación	105
6.1.2.8	Impacto durante la fase de clausura	105
6.1.3	Impacto social	106
6.1.3.1	Estética y percepción ciudadana	106
6.1.3.2	Interés empresarial	106
6.1.3.3	Apoyo institucional	106
6.1.3.4	Flujo de tráfico durante la construcción	106
6.1.3.5	Flujo de tráfico durante la operación	106
6.1.4	Repercusiones económicas	107
6.1.4.1	Inversión inicial	107
6.1.4.2	Coste de operación y mantenimiento	108
6.1.4.3	Retorno de la inversión	109
6.1.4.4	Potencial subvención	111
6.1.4.5	Riesgo financiero	111
6.2	<i>Alternativa I</i>	112
6.2.1	Viabilidad técnica	112
6.2.1.1	Consumo energético y emisiones	112
6.2.1.2	Madurez de la tecnología	114
6.2.1.3	Resistencia ante inclemencias y accidentes	114
6.2.1.4	Adaptación a la infraestructura	115
6.2.1.5	Obra necesaria	116
6.2.1.6	Escalabilidad	116
6.2.1.7	Capacidad	116
6.2.2	Impacto ambiental	116
6.2.2.1	Conservación del paisaje	116
6.2.2.2	Conservación de la flora	116
6.2.2.3	Conservación de la fauna	117
6.2.2.4	Conservación de la hidrología	117
6.2.2.5	Conservación de la conectividad territorial	117
6.2.2.6	Impacto durante fase de diseño	117
6.2.2.7	Impacto durante fase de construcción	117
6.2.2.8	Impacto durante fase de operación	118
6.2.2.9	Impacto durante fase de clausura	118
6.2.3	Impacto social	118
6.2.3.1	Estética y percepción ciudadana	118
6.2.3.2	Interés empresarial	119
6.2.3.3	Apoyo institucional	119
6.2.3.4	Flujo de tráfico durante la construcción	119
6.2.3.5	Flujo de tráfico durante la operación	119
6.2.4	Repercusiones económicas	119
6.2.4.1	Inversión inicial	119
6.2.4.2	Coste de operación y mantenimiento	120

6.2.4.3	Retorno de la inversión	121
6.2.4.4	Potencial subvención	121
6.2.4.5	Riesgo financiero	121
6.3	<i>Alternativa II</i>	123
6.3.1	Viabilidad técnica	123
6.3.1.1	Consumo energético y emisiones	123
6.3.1.2	Madurez de la tecnología	124
6.3.1.3	Resistencia ante inclemencias y accidentes	124
6.3.1.4	Adaptación a la infraestructura	124
6.3.1.5	Obra necesaria	125
6.3.1.6	Escalabilidad	125
6.3.1.7	Capacidad	126
6.3.2	Impacto ambiental	126
6.3.2.1	Conservación del paisaje	126
6.3.2.2	Conservación de la flora	126
6.3.2.3	Conservación de la fauna	127
6.3.2.4	Conservación de la hidrología	127
6.3.2.5	Impacto durante fase de diseño	127
6.3.2.6	Impacto durante fase de construcción	127
6.3.2.7	Impacto durante fase de operación	127
6.3.2.8	Impacto durante la fase de clausura	127
6.3.3	Impacto social	128
6.3.3.1	Estética y percepción ciudadana	128
6.3.3.2	Interés empresarial	128
6.3.3.3	Apoyo institucional	128
6.3.3.4	Flujo de tráfico durante la construcción	128
6.3.3.5	Flujo de tráfico durante la operación	129
6.3.4	Repercusiones económicas	129
6.3.4.1	Inversión inicial	129
6.3.4.2	Coste de operación y mantenimiento	130
6.3.4.3	Retorno de la inversión	130
6.3.4.4	Potencial subvención	130
6.3.4.5	Riesgo financiero	130
6.4	<i>Alternativa III</i>	132
6.4.1	Viabilidad técnica	132
6.4.1.1	Consumo energético y emisiones	132
6.4.1.2	Madurez de la tecnología	133
6.4.1.3	Resistencia ante inclemencias y accidentes	133
6.4.1.4	Adaptación a la infraestructura	133
6.4.1.5	Obra necesaria	134
6.4.1.6	Escalabilidad	134
6.4.1.7	Capacidad	134
6.4.2	Impacto ambiental	135
6.4.2.1	Conservación del paisaje	135
6.4.2.2	Conservación de la flora	135
6.4.2.3	Conservación de la fauna	135
6.4.2.4	Conservación de la hidrología	135
6.4.2.5	Impacto durante fase de diseño	135
6.4.2.6	Impacto durante fase de construcción	135
6.4.2.7	Impacto durante fase de operación	135
6.4.3	Impacto social	136
6.4.3.1	Estética y percepción ciudadana	136
6.4.3.2	Interés empresarial	136
6.4.3.3	Apoyo institucional	136
6.4.3.4	Flujo de tráfico durante la construcción	137
6.4.3.5	Flujo de tráfico durante la operación	137
6.4.4	Repercusiones económicas	137
6.4.4.1	Inversión inicial	137
6.4.4.2	Coste de operación y mantenimiento	138

6.4.4.3	Retorno de la inversión	138
6.4.4.4	Potencial subvención	138
6.4.4.5	Riesgo financiero	138
6.5	<i>Matriz de rastreo</i>	140
7	Justificación de la solución adoptada	141
7.1	<i>Juicio de las alternativas</i>	141
7.1.1	Relativo a la viabilidad técnica	141
7.1.2	Relativo al impacto ambiental	141
7.1.3	Relativo al impacto social	142
7.1.4	Relativo a las repercusiones económicas	142
7.2	<i>Elección de la solución adoptada</i>	142
7.3	<i>Aplicación a situación práctica</i>	143
7.3.1	Sistema eléctrico	143
7.3.1.1	Valores nominales	143
7.3.1.2	Dimensionamiento eléctrico y caracterización estructural del sistema	143
7.3.2	Adaptación vial	149
7.3.2.1	Resolución del gálibo	149
7.3.2.2	Resolución de la señalización	151
7.3.2.3	Resolución de la comunicación entorno-conductor	151
7.3.2.4	Resolución ambiental	152
7.3.2.5	Resolución de la seguridad vial	153
8	Conclusiones del estudio	155
	Bibliografía	158

PARTE 1

1 PRÓLOGO

Desde los inicios de la presencia del ser humano, éste ha modificado el entorno para abastecer sus necesidades tanto vitales como de esparcimiento y desarrollo de su propia civilización; existen multitud de ejemplos en los que las obras e infraestructuras han afectado al entorno de civilizaciones como los mayas, egipcios, etc. No es hasta la Revolución Industrial, donde el ser humano ha transformado considerablemente en un espacio corto de tiempo el entorno que le rodea, los métodos de desarrollo y trabajo, la forma de proveerse de los recursos, así como una inmensa necesidad de movilización entre continentes para habitar diferentes lugares y buscar nuevos espacios.

En el siglo XVII, empezó el consumo de combustibles fósiles para el desarrollo de las actividades humanas: primero el carbón, y posteriormente el petróleo y el gas natural. Este hecho ha conllevado a un aumento progresivo del CO₂ en la atmósfera, así como otros gases de efecto invernadero, que han empeorado la calidad de vida humana y puesto en peligro nuestra salud, que, sumado a una creciente demanda de recursos energéticos en las últimas décadas, la sociedad en su conjunto ha decidido buscar fuentes y métodos alternativos con los que mantener su nivel de vida, tanto a nivel social como económico.

En un camino hacia la sostenibilidad, el autoabastecimiento, y el aprovechamiento de energías renovables y alternativas, tiene cada vez menos cabida el empleo de medios energéticos convencionales, basados en la combustión de materia fósil. Iniciativas como la eficiencia energética en los edificios, la implantación en masa del coche eléctrico, el incentivo del transporte público... resultan medidas que van en ese camino, pero que aún resultan insuficientes.

En cumplimiento de las exigencias climáticas ratificadas en el Acuerdo de París, en el cual se especificaba en su Artículo 2 [2]:

“a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;

b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos;

c) Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero;”

Se presenta la posibilidad de implantar las actuales tendencias de electrificación de los diversos sectores sociales hacia un ámbito más industrial. Históricamente, el transporte de mercancías terrestre ha sido un sector altamente demandante de energía.

Mientras que en el ferrocarril, durante todo el siglo XX se ha realizado a escala mundial una transformación hacia la electrificación del parque motor, impulsada sobre todo por la crisis del petróleo en la última parte del siglo, en el sector automovilístico es ahora cuando empiezan a darse los primeros pasos.

Si bien la descarbonización del transporte por carretera ha empezado con el automóvil particular, la emisión de CO₂ por parte de los camiones aún representa hasta un 24%¹ del total de producción de gases de efecto invernadero. Solamente en el año 2017, un total del 197 000 000 movimientos de mercancías por carretera se realizaron en España. Esto implica unas emisiones de 95 000 000 de toneladas de CO₂, que de no controlarse, provocarán en un futuro afecciones no solo ecológicas, sino materiales y económicas.

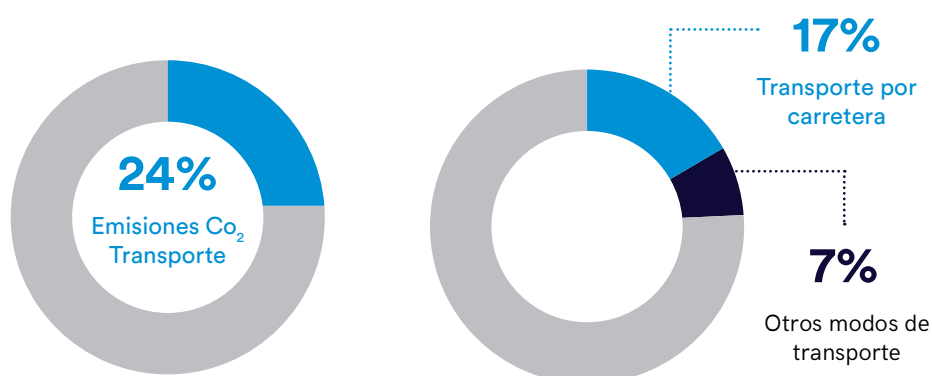


Gráfico 1-1: Emisiones de gases de efecto invernadero.

Izquierda: Emisiones de gases en la UE en el transporte.

Derecha: Emisiones según el modo de transporte.

Fuente: AECOC

De acuerdo a las directrices principales de organizaciones como la Unión Europea, se diferencian tres vías para poder acometer una reducción de las emisiones dentro del transporte de mercancías por carretera:

- **Avances en la regulación y normas comunitaria y nacional sobre emisiones:** las entidades nacionales y supranacionales (estados y comunidades de éstos) deben redactar una serie de normas que rebajen y limiten las emisiones de los vehículos que transporten mercancías (normativas sobre el CO₂, con máximos límites de 147 g CO₂/km, o la normativa Euro V y VI sobre el CO, NO_x y demás sustancias nocivas para el medio).
- **Mejora en la gestión de la información y servicios:** la automatización e informatización de la sociedad, junto con una mayor accesibilidad al comercio de bienes y servicios, precisa una innovación en los sistemas de logística.

¹ Datos de la International Council on Clean Transportation, en A world of thoughts on Phase 2

<https://www.theicct.org/blogs/staff/a-world-of-thoughts-on-phase-2>

El transporte de *last-mile*² permite utilizar una serie de tecnologías, basadas en sistemas de propulsión sin combustión, que ayudan a reducir la huella de carbono. El empleo de etiquetado RFID (*Radio Frequency Identification*), así como el uso de los macrodatos, permiten realizar un seguimiento de las mercancías, eligiendo la ruta más eficiente y económica.

- **Desarrollo tecnológico en los vehículos:** los sistemas autónomos de conducción (como la incursión de sistemas de inteligencia artificial en la tecnología de piloto automático en el coche particular, el *platooning*³ en camiones, o los sistemas de mantenimiento y predicción de fallos y averías, que permiten aumentar la eficiencia y reducir el consumo, traduciéndose en una mayor productividad). En este apartado se pueden nombrar tres vías de desarrollo:
 - **Transporte combinado:** se sirve de varios modos de transporte para poder llevar a cabo la tarea del transporte de mercancías. Durante mucho tiempo, ha sido la medida clásica dentro de las políticas de ahorro energético, debido a que permite la reducción de emisiones (en el caso de usar transporte por carretera más ferrocarril electrificado; en España supone una reducción actual del 80% en emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a un uso unimodal). Por otro lado, no requiere de un desarrollo tecnológico amplio, ya que se basa en las opciones ya existentes, e incrementa la eficiencia energética (hasta seis veces si se conjuga con transporte electrificado, o hasta 1,5 veces en el caso de tracción con motores de combustión).
 - **Camiones bajo gas natural:** es una opción con bastante madurez, sustentada en el uso de gas natural comprimido o licuado. Utiliza una tecnología ya existente, reduce de forma parcial las emisiones, y en el caso del GNL, la autonomía ofrecida por el combustible es similar a la de un camión propulsado por gasóleo, a expensas de una red de gasineras bastante reducida (casi 50 estaciones de GN aproximadamente en España frente a 11 500 gasolineras), así como de una continuación en la emisión de contaminantes a la atmósfera (la reducción sólo se logra en un 20%).
 - **Camiones eléctricos:** son el adalid en la descarbonización del sector, ya que no emiten emisiones de forma directa; al igual que los automóviles eléctricos, los camiones eléctricos aumentan la eficiencia energética hasta tres veces en comparación con sus homólogos a combustión. Referido al transporte ligero (< 100 km; < 1000 kg transportados), hay diversas ofertas de vehículos a batería, así como proyectos como el FREUVE (*Freight Electric Vehicles in Urban Europe*), que impulsan la adopción de este tipo de camiones para el transporte ligero. Sin embargo, el transporte pesado (larga distancia, gran tonelaje) apenas ha sido susceptible de ser electrificado. Apenas existen camiones de

² Anglicismo; *transporte de último kilómetro* es un término empleado en cadenas de suministro y planificación de transporte; se refiere al movimiento de personas y mercancías desde un nudo de transporte (intercambiadores, hubs aéreos, puertos, almacenes, mercados...) a su destino final.

³ También *trenes de carretera*; es la tecnología que permite que vehículos viajen en formación cerrada en la carretera, como los ciclistas en una carrera, tiene el potencial de reducir el consumo de combustible hasta en un 12 por ciento. Gracias a la comunicación entre vehículos, permite a los vehículos pesados formar formaciones aerodinámicas y de bajo consumo en las autopistas. Los camiones dentro del convoy siguen automáticamente a un camión líder, reduciendo el consumo de combustible hasta en un 12 por ciento.

grandes dimensiones propulsados por baterías, y su precio cuadriplica al de uno convencional. Se contemplan en este aspecto soluciones más adaptadas, como la hibridación, el uso de celdas de hidrógeno, o la alimentación mediante corriente eléctrica externa.

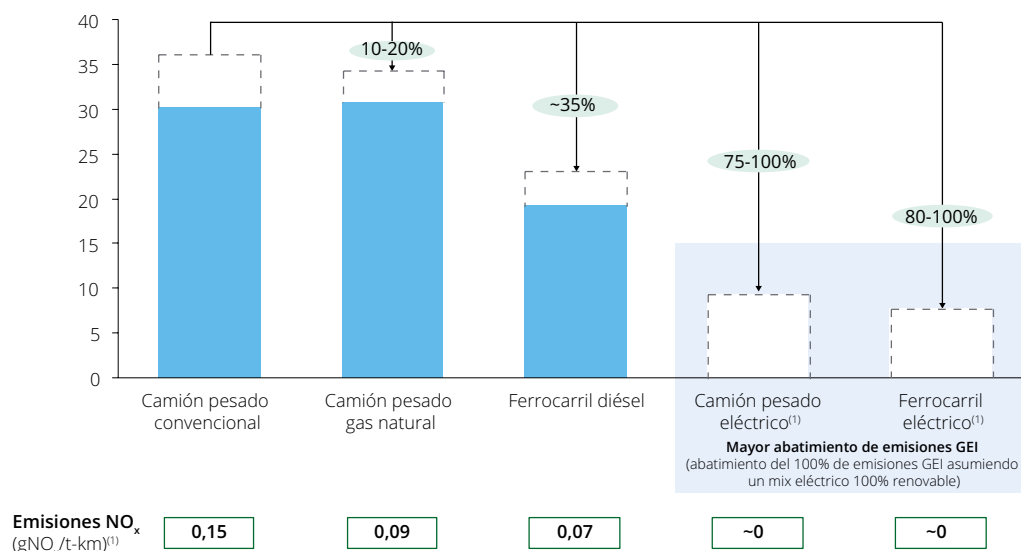


Gráfico 1-2: Emisiones de CO₂ en función de su modalidad y propulsión.

Fuente: Environmental Protection Agency; Gasnam; Green Building Council España; Monitor Deloitte; Observatorio de la Logística en España

Definidos dichos puntos, el propósito de este estudio descansa sobre el desarrollo en la tecnología de electrificación del sector, ya que es la que posee un mayor potencial para lograr la descarbonización del transporte pesado por carretera, así como lograr una mayor eficiencia energética en el movimiento de mercancías.

Entre las diferentes propuestas que se ofrecen, se pueden destacar las siguientes:

- **Carga por inducción:** fuera del aspecto del transporte, es una tecnología muy empleada: permite la transmisión de electricidad de forma inalámbrica en los aparatos de vuelo de los aviones, en entornos hostiles como aplicaciones submarinas y mineras, en zonas de fabricación de semiconductores... Se trata de la transferencia de energía sin contacto entre dos circuitos, a partir de dos bobinados independientes. Puede alcanzar una eficiencia cercana al 98%. Actualmente, esta tecnología se aplica de forma estacionaria, para la carga rápida de baterías de automóviles y autobuses. Del mismo modo, puede usarse de forma dinámica, instalando una serie de núcleos de ferrita en la carretera enterrados, que excitan una bobina secundaria en el vehículo.
- **Alimentación por el suelo:** principalmente empleado en tranvías, se tiende un riel en el suelo, el cual es frotado por unos patines de contacto en el vehículo. Se emplea en coches, autobuses y camiones, en zonas con poca probabilidad de lluvia o nieve y en carreteras con largos tramos rectos.
- **Alimentación aérea:** este tipo de tecnología se remonta al siglo XIX con el trolebús, por el cual un vehículo se alimenta a través de dos troles. Es un sistema

menos costoso que la alimentación por el suelo o la carga por inducción, aunque menos flexible, ya que los troles no pueden despegarse fácilmente del hilo conductor. Esto hizo que su uso fuese desplazado por otras opciones más adaptables. Ahora, con el auge de las baterías y los sistemas de acumulación rápida, así como el uso de pantógrafos en vez de plumas, permite una mayor flexibilidad a la hora de emplear esta tecnología.



Cuadro 1-1: Propuestas de electrificación del transporte pesado por carretera.

Izquierda, superior: Wireless Inductive Electric Charging System – Sistema de carga por inducción.

Izquierda, inferior: eHighway de Siemens – Alimentación aérea.

Derecha: eRoad Arlanda – Alimentación por el suelo.

Fuente: Scania; eRoad Arlanda

2 OBJETO Y ALCANCE

2.1 OBJETO

El presente estudio responde a la necesidad de reducir la huella ambiental del transporte pesado, responsable de una gran cantidad de emisiones de efecto invernadero. En este sentido, se quiere indagar en la posibilidad de realizar una electrificación de una autopista en la comunidad de Cantabria, aprovechando con los propósitos del Plan de Sostenibilidad Energética 2014-2020 [53], por el que aclara dentro de sus medidas específicas:

De acuerdo a (...) el plan de Acción 2008-2012, las actuaciones adicionales del sector transporte, en el horizonte 2020, son: (...)

Medidas de renovación de flotas

- *Electrificación del transporte por carretera: Incorporación de vehículos eléctricos e híbridos conectables*

En ese mismo Plan, enumera como líneas de actuación y acciones prioritarias:

- *Reforzar programas orientados a proyectos de innovación en movilidad sostenible. (transvase modal de la carretera al ferrocarril y al transporte marítimo; y desde el automóvil al transporte público, peatonal y a otros medios no contaminantes)*

De este modo, y con el fin de cumplir con las propuestas descritas en dicho documento, se pueden enumerar los objetivos principales del presente estudio en los siguientes:

- **Mostrar** la tecnología actual disponible en materia de electrificación de vías públicas orientado al transporte pesado.
- **Exponer** y **valorar** la implantación de la tecnología dentro de un ambiente real, en un posible escenario futuro.
- **Declarar** y **juzgar** las diversas alternativas existentes para el cumplimiento del objeto del estudio.
- **Definir** y **detallar** los parámetros técnicos que implicaría una instalación de esta tecnología.
- **Manifestar** las implicaciones sociales, económicas y de demás índole derivadas.
- **Adaptar** la tecnología a un espacio circunscrito y acotado, **reorientando** la infraestructura ya existente y acomodándola a las nuevas necesidades.
- **Presentar** las posibles sinergias de la electrificación con el sector industrial regional: en especial énfasis, la relación que podría tener con el proyecto de reapertura de la mina de zinc de Reocín.
- **Servir** como punto de inicio para futuras investigaciones y estudios de electrificación en la región.

2.2 ALCANCE

El alcance del presente estudio incluye la mención y explicación de la tecnología empleada en la electrificación de máquinas orientadas al transporte, a partir de elementos conductores y conductores, en conjunto con motores térmicos, sin entrar en la valoración de la electrificación mediante baterías.

El estudio contendrá una descripción de la metodología de trabajo, en donde se marquen las pautas de análisis de todas las variables a considerar para el análisis de alternativas y la determinación correcta de la solución. Se realizará una detallada descripción de la zona de estudio, tanto en sus vertientes geográfica, geológica, ambiental y socio-económica.

Se incluye un examen de alternativas, donde se alcanzará a enumerar aspectos de consumo y dependencia de la energía, los impactos ambientales, sociales y políticos asociados a cada una, así como sus repercusiones económicas. De este análisis se conduce a una justificación de la solución, en la que se incluirá un juicio y valoración de las ideas, que concluye con una elección de entre todas ellas.

En dicha justificación, se incluye una aplicación a caso práctico en dos vertientes: por un lado, el sistema eléctrico, dimensionando la línea con valores nominales, elección y cálculo del conductor, sistemas de distribución y generación, así como el tamaño y selección de los soportes de dicha línea.

Otro aspecto que se pretende abordar en el estudio y plantear propuestas de mejora es la cuestión del sistema vial, aclarando los temas relativos al gálibo de los puentes y pasos superiores existentes a lo largo del trazado, así como la señalización existente en éste. También se menciona la posible normativa que deba ser de cumplimiento en actuaciones como la que es objeto de este estudio.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 HISTORIA DE LA ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PESADO: DESDE EL SIGLO XIX HASTA EL XXI

3.1.1 Primeros pasos: el Elektromote

La electrificación, como definición, se entiende como el *hacer que algo funcione mediante el uso de la electricidad*. Este concepto se puede traducir como:

- La extensión y modernización de la red eléctrica a lugares donde ésta no estaba.
- La sustitución de los vehículos movidos por gasolina o semejantes, por aquellos movidos por energía eléctrica (en este sentido, se usa como sinónimo de *descarbonización*).

El primer paso de la tracción eléctrica comenzó con Robert Davidson, quien en 1837 inventó la locomotora eléctrica con su *Galvani*: una máquina de cuatro ruedas, que se alimentaba de baterías de ácido de zinc. Debido a la falta de financiación, el proyecto de Davidson no prosperó.

Por aquél entonces, la tecnología en baterías no había empezado a desarrollarse de forma masiva: no fue hasta 1859 cuando Gaston Planté y Camille Alphonse Faure dieron un salto en los sistemas de almacenamiento con las baterías de plomo. Este hecho hizo que se apostase por otras opciones que, si no proporcionaban tanta libertad de movimiento, sí aseguraban una ilimitada autonomía, al emplear una red eléctrica de donde alimentar los vehículos.

El siglo XIX fue la época en la que comenzó de forma práctica este uso de la electricidad para el movimiento cargas pesadas de un punto a otro: en 1879, Werner Von Siemens plantó el germen de la revolución en el transporte pesado al implementar de forma rentable la locomotora eléctrica. Desde entonces, ésta se convirtió en la bandera de la electrificación del transporte, ya que las aún en uso locomotoras de vapor (que fueron el estandarte de la Primera Revolución Industrial), ya empezaban a mostrar un impacto en la sociedad, tanto por la contaminación que producían, como por su enorme gasto energético a causa de su bajo rendimiento.

Teniendo en cuenta este enfoque ferroviario, así nació en Europa el concepto de la electrificación en el transporte debido a varios factores, entre otros:

- La **creciente contaminación** provocada por las locomotoras a vapor (así como las nacientes locomotoras a tracción diésel, que empezaron a aparecer en escena a partir de los primeros años del siglo XX)
- La **dificultad del aprovisionamiento** del carbón para alimentar a las locomotoras de vapor (esto provocó el desarrollo de otras alternativas a lo largo del siglo XX, como la conversión de dichas máquinas a fuelóleo).
- La **creciente disponibilidad de energía eléctrica**, gracias sobre todo a los numerosos recursos hídricos que aún a día de hoy siguen proporcionando electricidad.

- Las locomotoras eléctricas proporcionan una **mayor tracción** en zonas empinadas; están diseñadas para proporcionar el máximo par al arranque, cosa que no ocurre con los motores de combustión.

Si bien hubo concentrados esfuerzos por implementar este nuevo concepto en las ciudades –como en la *City and South London Railways* en Gran Bretaña, 1890, o en la *Baltimore Belt Line* de la Cía. B&O en EE.UU., 1895–, no fue hasta 1902 en Italia cuando el ingeniero Kálmán Kandó, reconocido padre de la tracción eléctrica, implementó la primera línea eléctrica de gran recorrido (106 km, con 3 kV de tensión y 15 Hz, siendo así además la primera línea de corriente alterna del mundo).

Fuera del ámbito del ferrocarril, y en la misma época, empezaba a desarrollarse la noción del trolébus, de manos de Von Siemens y su *Elektromote*.

En 1882, un carruaje sin caballos en Halensee, Berlín, era propulsado de manera independiente, sin raíles ni caballos que tirasen de él. Un tendido de 540 metros permitió demostrar la viabilidad de la idea de un transporte que, sin estar delimitado a unos rieles en el suelo, permitía desplazarse sin la necesidad de tracción animal alguna.

A partir de una línea hecha ex profeso, con una tensión de 550 V, corriente continua, permitía al artefacto lograr una velocidad cercana a los 12 km/h. La alimentación de la línea era asegurada por una central eléctrica de reducido tamaño, a partir de una máquina de vapor que movía una dinamo.



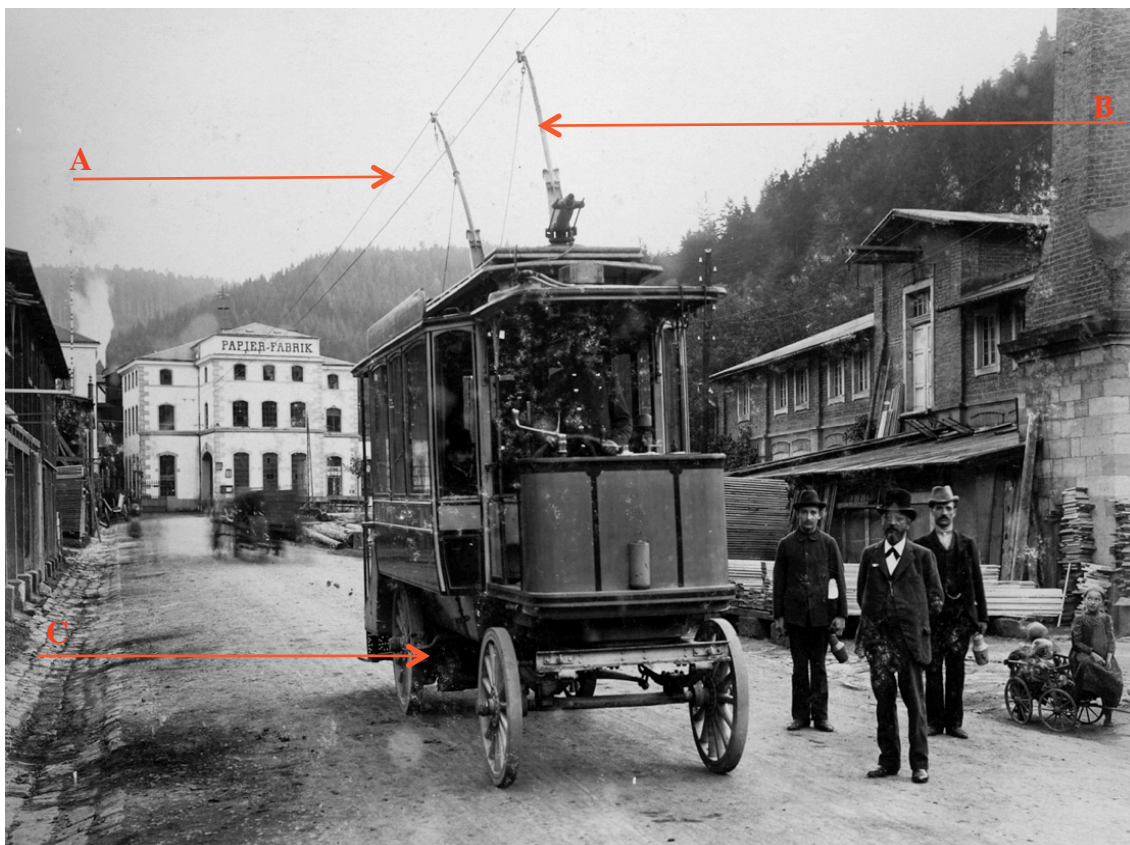
Cuadro 3-1: *Elektromote* de Siemens.

Fuente: Wikimedia Commons

El *Elektromote* fue sólo una prueba de lo que podría convertirse este sistema de transporte: debido al mal estado de las carreteras, la falta de neumáticos adecuados, y la creciente electrificación de los tranvías propulsados a caballo, la idea no tuvo mucha consideración más allá de un curioso experimento.

En 1900, Max Schiemann, ingeniero eléctrico y empresario alemán, que trabajó en colaboración con Siemens, se encargó de mejorar el diseño del *Elektromote*, tanto en su sistema de dirección como en el método de absorber la corriente del tendido eléctrico. Su diseño se hizo patente cuando, en 1901, empezaron a discurrir los primeros trolebuses regulares en Königstein, Suiza, así como en Bielatal, Alemania.

El aspecto constructivo de estos vehículos fue el que determinó el diseño del resto de vehículos eléctricos alimentados por trole (véase el Cuadro 3-2): dos pértigas conductoras, una por cada hilo conductor (ida + retorno), enganchadas a éstos y transmitiendo la electricidad a una máquina eléctrica, alimentada por corriente continua.



Cuadro 3-2: Uno de los primeros diseños de trolebús, en 1900.

A: hilo de contacto, portaba la electricidad a 500 V, con un tramo único de 4,4 km.

B: trole, portante de la corriente entre el motor de corriente continua y el tendido.

C: motor eléctrico, era capaz de desarrollar una velocidad de 12 km/h, bajo una pendiente del 1,25‰.

Fuente: Siemens

Este tipo de transporte, aunque enfocado al transporte de pasajeros, no se limitó sólo a éste; Schiemann desarrolló un sistema de transporte de mercancías, conocidos como *trolleytrucks* o *trolecamiones*⁴.

Uno de los diseños más prometedores del ingeniero alemán fue el *Hafenschleppbahn*, en Hamburgo, 1912, permitiendo salvar una distancia de un kilómetro entre el puerto de la ciudad homónima y el barrio de Altona.

La pendiente era tal que la fuerza animal era insuficiente para trasladar la carga, por lo que se utilizaban estos pequeños tractores eléctricos para ayudarles a ascender.

Este sistema híbrido eléctrico-animal permitía desplazar 200 vagones diarios a una velocidad punta de 10 km/h; en cada desplazamiento, podían desplazarse hasta 7 Tm/día, con un consumo de 30 878 kWh anuales.

⁴ También conocido como *freight trolley* o *trolley truck*, es un camión eléctrico alimentado por dos troles, como un trolebús. Para grandes potencias, se emplean pantógrafos en su lugar.

3.1.2 Primera mitad del siglo XX: los trolecamiones en minería y obra civil

3.1.2.1 Proyecto de la Valtelina (1938)

Tras los diseños de Schiemann, el trolebús empezó su trayectoria como un método energéticamente eficiente de transportar pasajeros entre distintos puntos de una urbe; no obstante, el concepto demostrado en el *Hafenschleppbahn* sufrió una serie de cambios hasta desembocar en la tecnología existente a día de hoy.

En 1938 fue construido el Sistema de la Valtelina (Lombardía, Italia) por la Cía de Electricidad de Milán: un conjunto de veinte camiones eléctricos, utilizados con el fin de transportar hormigón, áridos y demás equipos para la construcción de las represas de San Giacomo y Cancano II en el valle de la Valtelina.

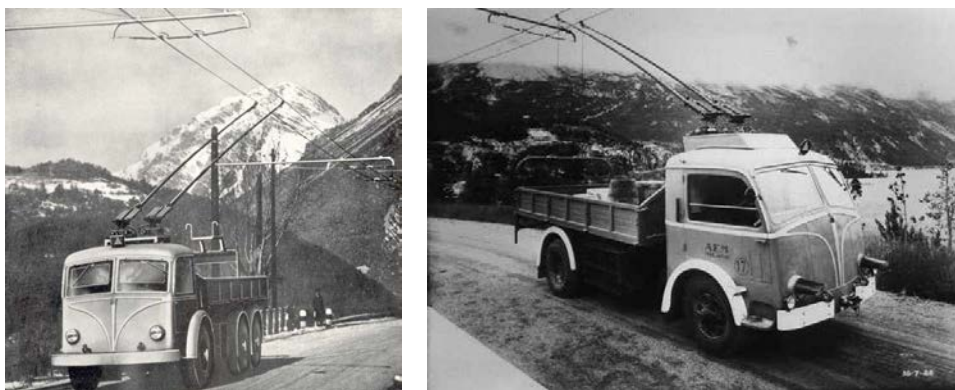
El parque móvil se componía de dos tipos de vehículos: dieciséis camiones de tres ejes para transporte de cargas pesadas, más cuatro camiones de dos ejes para llevar herramientas y personal, construidos por la casa FIAT y CGE, con tecnología de General Electric.

El sistema eléctrico lo componían dos líneas aéreas de 650 V, bajo corriente continua:

- Construida entre 1940 y 1950, una línea de un solo carril, de 66 km de longitud, entre Tirano y Boscopiano (San Giacomo).
- Otra de 14 km, establecida entre 1952 y 1956, comunicando las localidades de Bivio Molina y Digapoli (Cancano II).

Para la rodadura de los camiones, se aprovechaba el trazado de la carretera del Stelvio. El cruce de vehículos se permitía en seis puntos donde la línea eléctrica se duplicaba.

Este sistema permitió demostrar cómo podía utilizarse la electricidad a gran escala para el movimiento de mercancías, reforzando el éxito ya cosechado con el ferrocarril de la Valtelina, la primera línea ferroviaria electrificada, obra del ingeniero eléctrico Kálmán Kandó. El sistema de camiones eléctricos se mantuvo operativo hasta 1962.



Cuadro 3-3: Camiones empleados en el proyecto de la Valtelina.

Camiones empleados en el sistema de la Valtelina:

Izquierda: camión de seis ejes FIAT 672F/121.

Derecha: camión de cuatro ejes FIAT 666F/20.

Fuente: Alessandro Albè

3.1.2.2 Explotación cementera de Riverside (1956)

La *Riverside Cement Co. of Crestmore* (California, EEUU) data su actividad en 1909; un problema que tuvo desde el inicio de sus operaciones fue la adecuada gestión de los gases contaminantes que ésta emitía, por lo que se tomaron innovadoras propuestas para tratar de reducir el impacto de la cementera en la zona.

Una de las principales acciones tomadas consistió en la construcción de un tendido eléctrico de kilómetro y medio de longitud, doble hilo, 550 V en corriente continua, que comunicaba la zona de extracción (una mina subterránea) con la planta de procesamiento.

Este sistema salvaba una pendiente del 10%, bastante inclinada para un camión diésel normal; cuatro camiones Kenworth de 30 toneladas, con 350 CV de potencia, remotorizados para emplear exclusivamente corriente eléctrica, fueron empleados durante más de veinte años para trasladar la piedra caliza hasta el molino de cemento.

Para la alimentación del camión, existían dos métodos diferentes: dentro de la mina, un carrete de hilo extensible se conectaba al motor directamente, proporcionando 550 V CC, permitiendo una libertad de movimiento dentro de la zona de carga. Al abandonar el recinto, se desconectaba el carrete, se tendían los troles, y el camión ascendía la pendiente con la energía eléctrica que recibía de los postes situados sobre él.

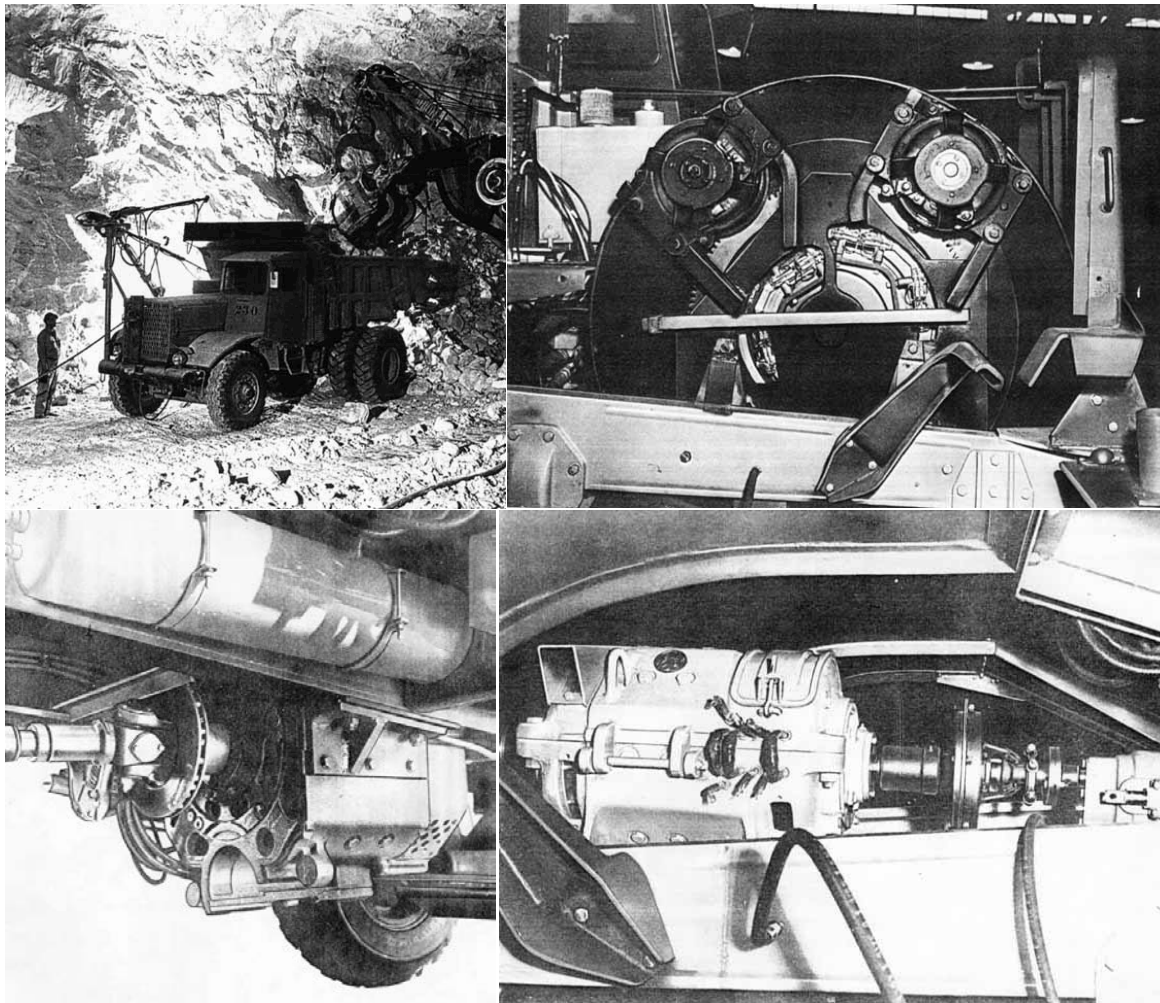
El motor GE762B1 de accionamiento eléctrico, permitía que los trolecamiones alcanzasen unas velocidades de ascenso de hasta 16 km/h, el doble que si se utilizara un camión propulsado con diésel.

Este sistema permitió a la compañía de Riverside reducir sus emisiones y lograr unos costes de operación y mantenimiento mucho más bajos; una evaluación económica realizada en 1954 indicó que era más económico emplear energía eléctrica que utilizar combustible diésel. Otros ahorros que se manifestaron incluyeron el aceite de motor, mantenimiento del motor y del tren motriz, frenos y llantas. Gracias a la aplicación suave del par de torsión, se incrementó hasta la vida útil de los neumáticos.



Cuadro 3-4: Camión Kenworth en la pendiente de ascenso desde la mina subterránea de piedra caliza hacia el molino de cemento. Portaba dos motores: el principal, que movía el eje trasero, uno auxiliar, para el sistema hidráulico, y un generador de 24 V para faros y potencia de control, así como el accionamiento del compresor para el freno de aire.

Fuente: Dave Hutnyak



Cuadro 3-5: Detalles de los camiones empleados en la mina de Riverside.

Izquierda, superior: camión Kenworth durante la operación de carga, obsérvese el cable extensible del carrete de hilo que lo alimenta.

Izquierda, inferior: motor principal GE762B1; inicialmente diseñado como generador para locomotoras diesel eléctricas de gran potencia, era ideal para la propulsión del trolecamión. Montado en el chasis del camión, con ventilación natural, y regulado con reóstatos en la parte delantera del camión.

Derecha, superior: carrete de hilo, que se conectaba a un enchufe ex profeso, permitiendo la alimentación directa del motor principal. El carrete tenía un diámetro de 1,52 metros, encerrando hasta 143 metros de cable conductor. Dos motores tensores de 500V permitían mantener firme el hilo, evitando enrollamientos.

Derecha, inferior: motor auxiliar de 550 V; para lograr una máxima eficiencia en la propulsión del vehículo, un motor acoplado en paralelo al principal se encargaba de mover el volquete y accionar los servomotores de dirección de las ruedas. Los faros y el mando de los elementos de potencia se realizaban con un generador de 24 V.

Fuente: Dave Hutnyak

3.1.3 Segunda mitad del siglo XX: sistema de asistencia por trole⁵

Si bien el uso de la electricidad permitía una mayor eficiencia en el transporte de cargas, así como una potencia y un par mayores que sus homólogos térmicos, carecía de una característica crucial: la autonomía. El tendido de una línea eléctrica, la preparación de un lugar concreto donde generar electricidad, la construcción de parque motor específicamente propulsado para funcionar con electricidad, etc., ya no era tan competitivo con respecto a un creciente descenso del precio del crudo del petróleo.

Es por ello que a partir de la década de los sesenta, tanto trolebuses, y especialmente los trolecamiones, fueron desapareciendo de la escena mundial, viéndose sustituidos por sus homólogos de combustión.

No obstante, sobre todo en el entorno minero, las cualidades que ofrecía el motor eléctrico, como la posibilidad de ofrecer un torque mayor e instantáneo, o la capacidad de transmitir la energía de un modo más directo, fueron tenidas en cuenta y combinadas con las actuales tecnologías de combustión interna, estableciendo los primeros vehículos híbridos dentro del transporte pesado.

La primera demostración del sistema de asistencia por trole fue en 1967, en la mina de Chino de la Kennecott Copper, una de las minas de cobre más grandes del mundo; se preparó una línea eléctrica que recorría 400 metros con una rampa del 7%. Un camión Unit Rig Model M100, de 700 CV de potencia, fue auxiliado por un alternador a 634 V. El experimento demostró que, bajo una carga de 123 toneladas, la velocidad del camión pasó de 10 km/h a 22 km/h, limitada ésta última sólo por la tensión de la línea instalada.

3.1.3.1 Mina de Quebec-Cartier (1970)

Esta mina de hierro, situada en la localidad de Lac Jeaninne, Canadá, poseía una ruta de transporte entre la zona de extracción y una trituradora de 2,44 km de longitud y 122 metros de diferencia de cota; los medios convencionales permitían realizar el viaje completo en casi media hora.

Los propietarios de la mina, previendo el aumento de la demanda de hierro, buscaron formas de reducir el tiempo en el que los camiones trasladaban su carga, y notaron que sus actuales camiones, aunque aptos en capacidad, eran escasos de potencia.

Tras buscar varias soluciones, se realizó un estudio de factibilidad sobre la aplicación del experimento en la mina Chino a un entorno real, ya que, aunque técnicamente el sistema era viable, no había sido puesto bajo condiciones reales de operación. Por ese motivo, se creó un consorcio entre Quebec-Cartier, Canadian Johns Manville Co., y Unit Rig and Equipment Co., para construir un prototipo adaptado a los requisitos de este entorno.

Para una mayor optimización de la energía, se adoptó por construir una línea aérea de contacto diferente al hilo convencional: un carril conductor aéreo⁶. Dos barras de

⁵ Conocido también como *trolley power assist line*, se basa en la ya existente tecnología demostrada en los trolecamiones, de tal modo que en zonas de alta pendiente, el motor de combustión que propulsa al camión es desconectado o puesto al ralentí, y un alternador alimentado por esta línea externa propulsa los ejes motrices durante el recorrido de la pendiente.

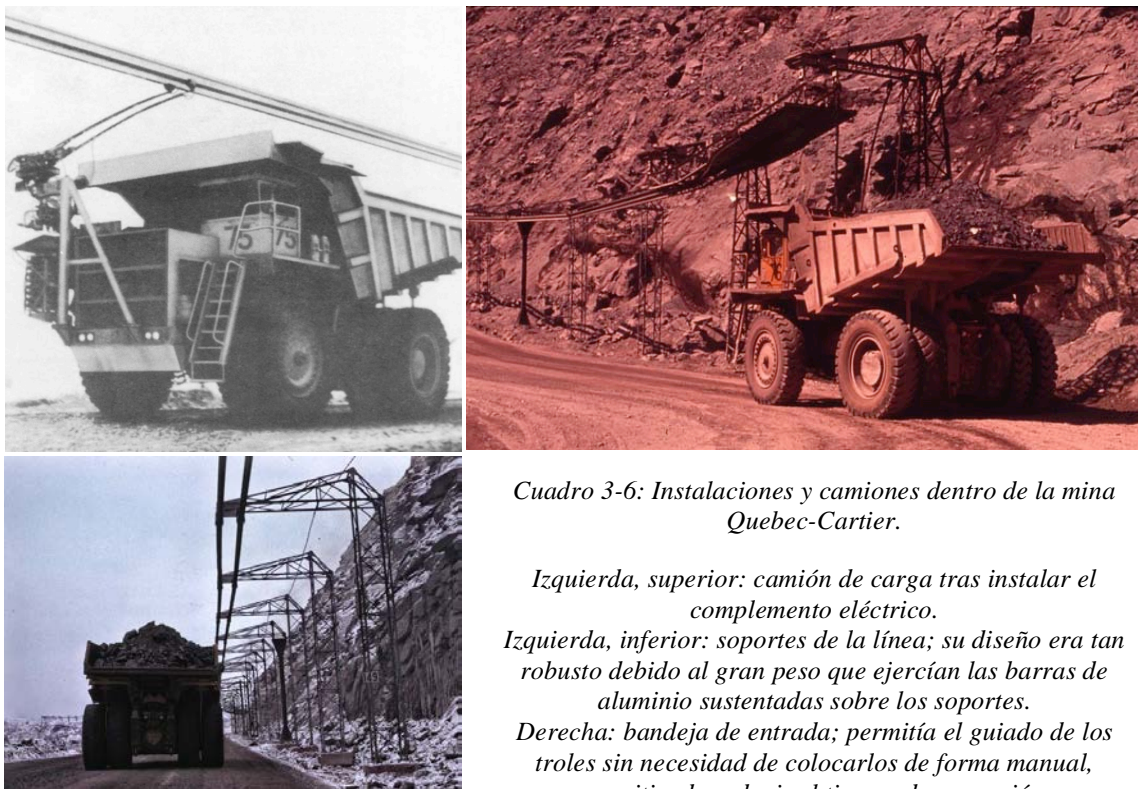
⁶ No confundir con *catenaria rígida*; el carril conductor aéreo es una barra que se ocupa de transmitir íntegramente la corriente entre la generación y el motor receptor en el camión. La catenaria rígida se compone de un perfil de aluminio –u otro material conductor– que sirve de soporte a un hilo de contacto, que porta la corriente; ésta última tecnología se explicará en un posterior apartado.

aluminio, suspendidas de unas torres de acero ancladas sobre bases de hormigón sostenían el conjunto de alimentación. Para facilitar el contacto automático entre las zapatas de los troles y las barras, se instalaron en el comienzo de la línea unas bandejas de entrada.

Con el fin de comprobar a menor escala la eficiencia del sistema, se construyó una rampa de 300 metros y 10% de pendiente, con una línea eléctrica que era alimentada mediante una locomotora diesel-eléctrica de 1800 CV de potencia, proporcionando la corriente necesaria.

Tras unos ajustes de diseño del camión y el sistema de guiado de los troles, el sistema demostró ser más productivo que el uso del motor térmico exclusivamente, mostrando un ahorro significativo en la cantidad de combustible empleado.

Este test previo llevó a que en 1970, se instalase en todos los camiones un par de troles y un alternador que complementasen al motor térmico ya existente, en los camiones KW Dart y Unit Rig M85 de 85 toneladas, y Unit Rig M100, de 100 toneladas; el sistema tuvo tanto éxito que operó hasta el cese de la actividad minera en 1977. Durante ese lapso de tiempo, se logró una disminución del 23% en el tiempo empleado para mover la carga, y un ahorro de 87% en el consumo de combustible.



Fuente: Dave Hutnyak

3.1.3.2 Palabora mining e ISCOR mining (1980)

Viendo los éxitos de los experimentos en Quebec-Cartier y la mina Chino, en 1979 la mina de cobre de Palabora, Sudáfrica, también llevó a cabo un estudio de viabilidad sobre la asistencia de trole y su instalación en su entorno minero. Dicho estudio se llevó en tres fases:

La Fase I, testeó la viabilidad técnica en condiciones reales, mediante una rampa del 8% y 720 metros de longitud. El diseño, en vez de barras o hilos simples, apostó por un sistema de catenaria doble (un conductor de ida, uno de retorno).

La electricidad provenía de una subestación eléctrica cerca, proporcionando con una potencia de 5000 kW una tensión continua de 1200 V, alimentando a tres camiones a plena carga.



Cuadro 3-7: Detalle del sistema eléctrico instalado en los camiones de la mina de Palabora.

Fuente: Dave Hutnyak

En un primer momento, se optó por un diseño de troles, como en previas ocasiones, pero aunque el sistema cumplía con su objetivo, podía mejorarse la eficiencia. De este modo, se decidió sustituir los troles por dos pantógrafos, que tenían una mayor superficie de contacto con el cable conductor, y permitían una mayor libertad de movimiento, así como una operación mucho más rápida.

En 1981, la Fase II incluyó la prueba a gran escala del sistema, con 75 camiones Unit Rig de 120 toneladas, remodelados para la tracción eléctrica-diésel, y ampliando la línea hasta los 2,7 kilómetros de extensión.

El estudio terminó en la Fase III, cuando toda la flota principal de camiones (añadir a los anteriores 19 Euclid R190, y 6 camiones cisterna Unit Rig M36) se remodelaron para emplear la tracción eléctrica.

El mismo año en el que la mina de Palabora estaba empezando a estudiar el sistema, la South African Iron and Steel Co. (ISCOR) realizó lo mismo en la mina de Sishen, al prever una subida en el precio del diésel y la creciente preocupación de los gobiernos por reducir el empleo de combustibles fósiles. En 1982, más de 7 kilómetros fueron electrificados, y 66 camiones de 170 toneladas fueron remodelados.

Como se demostró en Palabora, el sistema convencional de troles no resultaba lo suficientemente adecuado y flexible: se necesitaba una instalación eléctrica de rápida colocación y desmantelamiento. Por ese motivo, la línea se construyó sobre vigas de acero montadas en placas; los mástiles se erigieron con 50 metros de luz, y se aseguraba su estabilidad con una base de 12 toneladas de mineral.

Empleando un sistema semejante al ferroviario, cada conductor permanecía suspendido de un brazo en voladizo independiente, tensado con unos polipastos de relación 2:1.

Con el fin de aumentar la capacidad de la línea, por cada polo se establecían 2 hilos en paralelo (dos para el cable de ida, dos para el de retorno), hechos a base de cobre ranurado.

La alimentación se realizaba en una subestación, conectada a una red trifásica de 11 kV, corriente alterna, transformada a 860 V CA, y rectificada con un puente de diodos trifásico a 1200 V CC, llevando cada conductor +600V y -600V respectivamente, con lo que se podía alimentar un camión a la vez.

Respecto al receptor, el pantógrafo empleado se componía de un cabezal de tres metros de ancho, con un par de tiras de grafito. La peculiaridad del sistema es que, si hubiera algún obstáculo en la línea, el camión puede salir de la línea sin necesidad de pararse, rebasar el obstáculo, y retornar en cualquier punto.

Tal fue el éxito de este sistema que ISCOR ha decidido aplicarlo en su mina Grootegeluk; en 2001, 32 Komatsu 730E y 9 Unit Rig M36 en Sishen, y 14 Komatsu 730E, 11 Marathon-LeTourneau 2200s y 1 Euclid R280 AC en Grootegeluk funcionaban con la asistencia por trole.



Cuadro 3-8: Camiones de ISCOR.

Izquierda: Unit Rig M36 en Sishen, tras rebasar una unidad atascada en la línea.

Derecha: MLT2200 (retirado) en Grootegeluk.

Fuente: Dave Hutnyak

Estas dos experiencias sirvieron como última prueba para demostrar que la asistencia por trole era una inversión que, si alta al principio, permitía grandes ahorros de combustible y tiempo en las labores dentro de un espacio controlado, como era una mina a cielo abierto.

Así, otros ejemplos de electrificación de transporte pesado se dieron en la mina de cobre de Nchanga, Zambia, en la mina de uranio de Rossing, Namibia, o en la mina de oro de Barrick, Nevada.

3.2 SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE PESADO ACTUALES

Si bien el futuro de la propulsión de vehículos implica el tránsito desde una tecnología basada en la combustión de un fuel dentro de un motor térmico, hacia el aprovechamiento de la electricidad mediante un motor eléctrico, no todos los medios de transporte tienen o se mueven hacia mismos tipos de electricidad.

En este sentido, los automóviles están sufriendo actualmente una revolución hacia el empleo masivo de baterías o acumuladores, que permiten ofrecer una solución en términos de autonomía de rango y de movimiento. De esta manera, se puede decir que estos modos de transporte tienden hacia una *electrificación discontinua*⁷.

Por otro lado, modos de transporte más pesados, como el ferrocarril, el trolebús o el trolecamión se basan en un sistema de electrificación *continua*, en la que en todo momento reciben la corriente que necesitan de una línea externa, con la desventaja de que, en caso de que falle, el vehículo no puede moverse.

Así, el transporte pesado necesita un sistema de alimentación continuo pero ininterrumpido, que no pueda verse afectado por cortes o caídas en la línea, pero que tampoco dependa de ciclos de carga y descarga, disponible en cualquier momento. Los precisos requerimientos que precisa este tipo de transporte hacen bastante atractivo la adopción de un sistema de *electrificación semicontinua*, en donde puedan aprovecharse las ventajas de las electrificaciones tanto continua como discontinua.

Tabla 3-1: Ventajas e inconvenientes de los sistemas de electrificación.

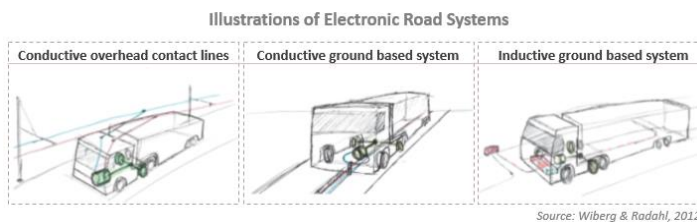
Fuente: Siemens; BMU

	Sistema continuo	Sistema discontinuo	Sistema semicontinuo
<i>Ventajas</i>	<ul style="list-style-type: none"> No depende de ciclos La energía no se degrada con el tiempo Suministro constante 	<ul style="list-style-type: none"> Libertad de movimiento Fuente de energía en el interior del vehículo 	<ul style="list-style-type: none"> Suministro de energía permanente Libertad de movimiento y autonomía extendida Dos fuentes de energía
<i>Inconvenientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> Si falla el suministro los vehículos no pueden moverse Alta inversión inicial Sólo un modo de energía Interfiere con el resto de la infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> La energía se degrada con el tiempo⁸ Tecnología aún costosa Sólo un modo de energía Autonomía limitada 	<ul style="list-style-type: none"> Alta inversión Tecnología en fase de desarrollo Puede interferir con el resto de la infraestructura

⁷ Se puede definir como *electrificación discontinua* a aquellos sistemas que están diseñados para funcionar bajo ciclos de carga y descarga, por medio de acumuladores eléctricos. Este es el fundamento de los coches eléctricos. Por el contrario, la *electrificación continua* no contempla en ningún ciclo de carga y descarga, sino que el vehículo bajo este sistema se alimenta en todo momento de corriente eléctrica a partir de una línea.

⁸ La cantidad de energía que una batería puede almacenar depende del número de ciclos que ésta posea; a mayor utilización, más ciclos, y menor cantidad de energía puede retener. Asimismo, el no uso de la batería hace que ésta drene la energía que tiene almacenada, a tiempos prolongados.

Este sistema de electrificación semicontinua puede traducirse en un entorno real en un ERS (Electric Road System); los vehículos (camiones) que usan el sistema, poseen un motor eléctrico propulsado por una fuente externa de energía, bien mediante un **cable aéreo**, **subterráneo**, o por **inducción**.



Cuadro 3-9: Tipos de ERS principales.

Fuente: SIA Partners

Se diferencia con un sistema continuo (trolecamión) en el que la tecnología de propulsión es *híbrido*, como en el sistema de asistencia por trole, en el que el camión puede abandonar la línea en cualquier punto, y volver a ella en cualquier momento. La diferencia con este tipo de instalación es que, mientras el propósito de la asistencia por trole es de *auxiliar al motor térmico en el ascenso de una pendiente*, en un ERS, la función es la de *sustituir por completo al motor térmico durante el trazado de la línea, durante el mayor tiempo posible*.

3.2.1 Alimentación mediante línea aérea de contacto

3.2.1.1 Fundamento

Es la forma más simple en la que se puede establecer un ERS: a partir del tendido de un cableado aéreo, que alimenta a aquellos vehículos equipados con un colector o patín de corriente, bajo la forma de un trole o pantógrafo.

En su esencia, aprovecha la tecnología de la asistencia por trole (inspirada a su vez en el sistema eléctrico de los ferrocarriles), modificado para su uso en una autovía o carretera al uso. La transmisión directa de energía eléctrica permite que el camión, sin emplear un motor térmico, posea un rendimiento línea-rueda del 80% al 85%.

Este sistema de electrificación consta de una serie de elementos:



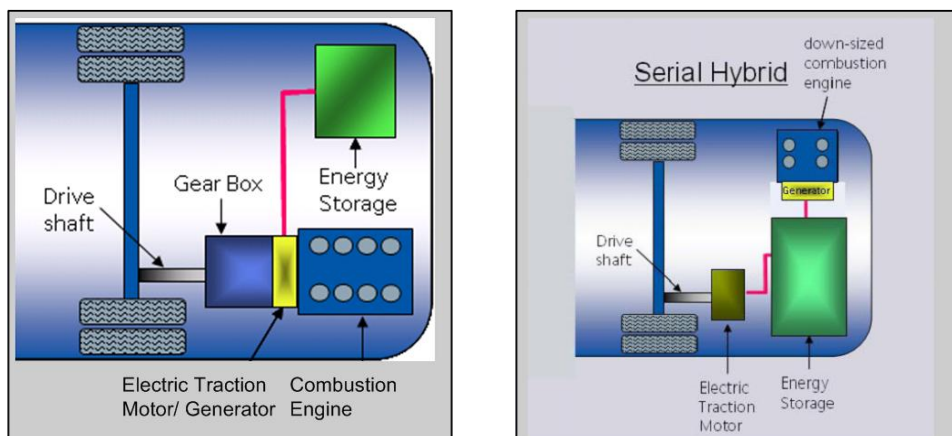
Cuadro 3-10: Elementos principales del sistema de electrificación por línea aérea de contacto.

*Izquierda: subestaciones y línea de catenaria.
Centro: pantógrafo inteligente.
Derecha: configuración híbrida*

Fuente: Siemens

- **Suministro de energía y distribución – subestaciones e infraestructura de catenaria:** las subestaciones, conectadas a la red, se encargan de suministrar una corriente eléctrica ininterrumpida. Dicha corriente se transmite mediante una línea aérea con dos hilos de contacto, permitiendo proporcionar la energía al camión en movimiento, hasta velocidades de 90 km/h. Gracias a la dinámica del vehículo, la energía puede intercambiarse entre la red y la línea⁹.
- **Pantógrafo inteligente:** es uno de los puntos principales del sistema, siendo el elemento que une la línea de contacto con el motor del vehículo. Está diseñado para que, de forma automática, permita la conexión y desconexión de la línea en cualquier punto. Esta cualidad se consigue gracias a un sensor de radar en el techo del vehículo: en todo momento, lee la posición de los patines del pantógrafo respecto de los hilos de contacto, logrando posicionarse en el ángulo e inclinación óptimos para la mayor eficiencia en la captación de corriente.
- **Configuración híbrida:** el vehículo no sólo depende de la energía eléctrica de la línea para propulsarse; gracias a un sistema modular, puede operar con diferentes fuentes de energía, y diversas combinaciones, con el fin de poder desplazarse por aquellos lugares donde la red eléctrica no llega, como los puntos de destino, o cuando la energía eléctrica no está disponible.

Se diferencian dos configuraciones: en *paralelo*, el motor eléctrico se integra con el sistema motor térmico-embrague, de tal modo que permite el intercambio de energía entre ambos motores, siendo el motor térmico quien lleve el mayor peso de la tracción, actuando el eléctrico de auxiliar. El sistema en *serie*, el motor eléctrico sustituye a la transmisión manual, estando el vehículo siempre movido a través (que no por) el motor eléctrico. Permite una mayor integración del generador en el esfuerzo motriz, y un mayor aprovechamiento de la energía. El motor eléctrico es el que lleva el peso de la tracción, siendo el térmico un auxilio de éste.



Cuadro 3-11: Configuraciones híbridas de un camión.

Izquierda: esquema de configuración en paralelo.

Derecha: ídem, en serie.

Fuente: Siemens

⁹ Frenado regenerativo; una variación en la energía cinética del camión no causada por la corriente de alimentación (una frenada, o un incremento en la aceleración al moverse por una cuesta) genera una fuerza electromotriz que convierte al motor eléctrico en generador, devolviendo energía a la red.

3.2.1.2 Desarrollo: proyecto ENUBA¹⁰, eHighway y ELISA

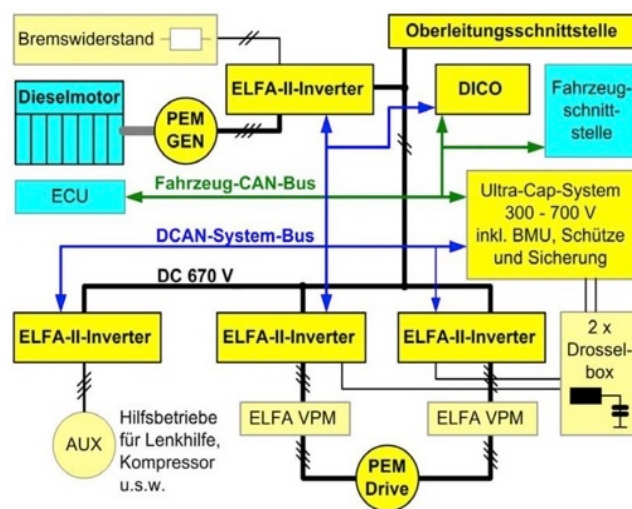
Siemens, en colaboración con el *Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear* alemán (BMU), ha desarrollado desde 2010 los proyectos ENUBA y ENUBA 2, dirigidos a desarrollar una infraestructura viaria de transporte pesado, definiendo las bases tecnológicas y conceptuales para la investigación y desarrollo, habiendo preparado un proyecto piloto en un primer itinerario sobre un espacio público.

A partir de un Mercedes Actros 1841, motor diésel V6 de 12 litros, 300 kW de potencia y 2000 Nm de par, se le añadió una configuración híbrida en serie, en donde el motor de combustión no tiene conexión directa con las ruedas motrices. Éste propulsa un generador, el cual sí mueve el eje motor del vehículo. Unos condensadores en el sistema motriz permiten almacenar la energía cuando sea necesario, como en el caso de las frenadas. Asimismo, un freno reostático permite disipar la energía al decelerar en forma de calor.

Las experiencias recogidas en este proyecto, aunque realizadas bajo estrictas condiciones controladas, sirvieron de experiencia para pulir los primeros diseños. Así, se aplicaron diversos sistemas de alimentación y control, diversas frecuencias de corriente, etc.

A partir de estos dos desarrollos, surgió la propuesta comercial de la *eHighway*, de la mano de Siemens, en conjunto con diversas empresas del sector, como Volvo, Scania o BDI.

Esta propuesta comercial empezó en 2014, en una pista de 3 km entre las ciudades de Los Ángeles y Long Beach, EEUU. Tres camiones Mack Pinnacle de



Cuadro 3-12: Camión y esquema de configuración de éste en el proyecto ENUBA

Arriba: modelo de prototipo utilizado durante el proyecto, basado en el chasis de un Mercedes Actros.

Abajo: diagrama del sistema de accionamiento híbrido en serie del vehículo prototipo.

Fuente: BMU

¹⁰ *Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen*; Electromovilidad en vehículos industriales pesados para aliviar la carga sobre el medio ambiente en las zonas urbanas

302 kW y 2115 Nm, manufacturados por Volvo, fueron equipados con una transmisión eléctrica mDRIVE y un motor eléctrico de 150 kW. Tras un año de servicio funcionando como camiones de maniobra, se demostró su potencial como alternativa plausible al camión convencional. El proyecto tuvo un coste de 13.5 millones de dólares.

Esta experiencia dejó paso a la construcción de la primera autopista eléctrica; en junio de 2016, en Gävle, Suecia, dos kilómetros de la autopista E16 fueron electrificados al público, uniendo el puerto de Gävle y Storvik, en colaboración con la administración sueca de transporte Trafikverket, el fabricante de camiones Scania y la empresa de transporte Ernsts Express.

De este modo, el sistema construido funcionó con un camión Scania G 360, con sistema híbrido en paralelo, motor térmico de 360 CV propulsado por biodiesel, un motor eléctrico de 130 kW, 1050 Nm, y una batería de 5 kWh (con una autonomía de 3 km sin alimentación externa). El conjunto estaba alimentado por una línea de 670 V de tensión.

Económicamente, el coste fue de 77 millones de coronas suecas, de los cuales 44 millones fueron subvencionados por el gobierno sueco (aprox. 7,3 y 4,1 millones de euros, respectivamente).

Visto el éxito en Gävle, en 2019 dos proyectos (ELISA¹¹, en Hesse, Alemania; *Autostrada A35 Bremeni* en Milán, Italia) están siendo testeados para ampliar el estudio de esta tecnología.

El primero, consiste en un segmento de 10 km a electrificar de la autopista federal A5, entre el aeropuerto de Fráncfort del Meno y el intercambio logístico de Darmstadt-Weiterstadt.

El segundo, está localizado en el área del Bacino Padano; se propone, en un proyecto dividido en cinco fases, electrificar tres vías: la A35, A58 y A36, empezando por ésta primera con un tramo de 6 km entre Romano di Lombardia y Calcio, llegando hasta los 62 km de autopista electrificada.

Ambos proyectos buscan probar dentro de una experiencia real, buscando ya no sólo la viabilidad técnica, sino económica de erigir semejante infraestructura, y conocer cuánto rendimiento financiero puede tener el empleo de camiones eléctricos sobre el uso de camiones convencionales. En el caso de ELISA, se proyecta un coste de 16,8 millones de euros para la construcción de la línea.

El sistema también está siendo contemplado por otras empresas y países (Geodis y Électricité de France)

¹¹ *Elektrifizierter, innovativer Schwerlastverkehr auf Autobahnen*; Tráfico pesado electrificado e innovador en autopistas



Cuadro 3-13: Prototipos y esquema de funcionamiento en los proyectos ENUBA 2, eHighway y ELISA.

Izquierda, superior: camión de pruebas Scania G 360 empleado en el proyecto ENUBA 2.

Izquierda, centro: mismo camión en el proyecto de Gävle. Apreciarse los cambios en el carenado y el diseño del pantógrafo.

Derecha, superior: camiones Mack Pinnacle remodelados con el sistema de captación de corriente. Derecha, centro: camión Scania R 450 híbrido; 15 han sido encargados para el proyecto ELISA. Para optimizar costes y eficiencia, el colector ha sido rediseñado con un estilo más tradicional.

Izquierda, inferior: diagrama del sistema de accionamiento empleado desde el proyecto ENUBA 2.

Fuente: Scania; Siemens; BMU

3.2.2 Alimentación por conductor soterrado

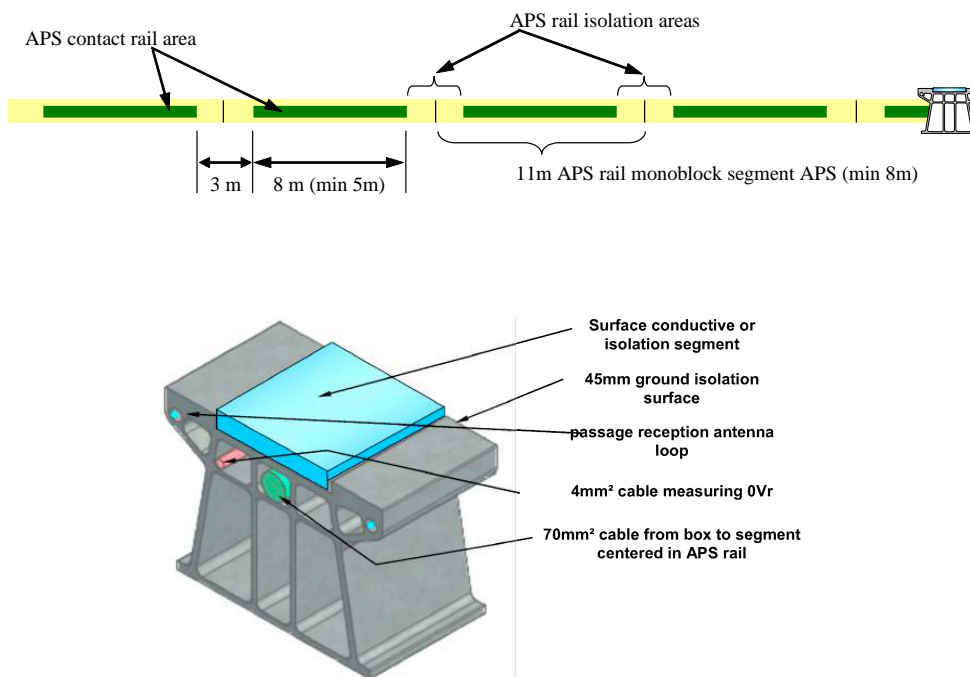
3.2.2.1 Fundamento

El principio de funcionamiento es similar a la alimentación mediante línea aérea de contacto, pero en vez de tenderse un cable sobre el vehículo, se tiende un elemento conductor debajo de éste (APS; alimentación por el suelo). Este tipo de tecnología está siendo desarrollada por empresas como Alstom o Elways.

Para alimentar al vehículo, el riel de alimentación se divide en pequeñas partes, que se mantienen en tensión sólo cuando un vehículo transcurre sobre tales segmentos, incrementando el nivel de seguridad del sistema. De este modo, un colector de reducidas dimensiones acoplado al vehículo se inserta en el riel, permitiendo el paso de la corriente y propulsándolo.

El sistema suele ser planeado para su uso por tranvías: vehículos de gran longitud, con dos colectores que se deslizan en el mismo segmento, distanciados una determinada distancia para asegurarse que al menos uno de ellos esté bajo un tramo bajo tensión, mientras que el otro está en uno sin corriente.

Un vehículo APS, en el caso de un tranvía, conduce bajo secciones de ocho a diez metros de longitud, con secciones neutras de tres metros entre éstas. El vehículo porta dos zapatas, conectadas con unas antenas de radio, responsables de activar o neutralizar la sección adecuada según se avanza. En un momento dado, dos segmentos consecutivos estarán bajo corriente.



Cuadro 3-14: Descripción del sistema APS.

Superior: diagrama de las secciones del sistema.

Inferior: detalle del riel de alimentación.

Fuente: Oscar Olsson

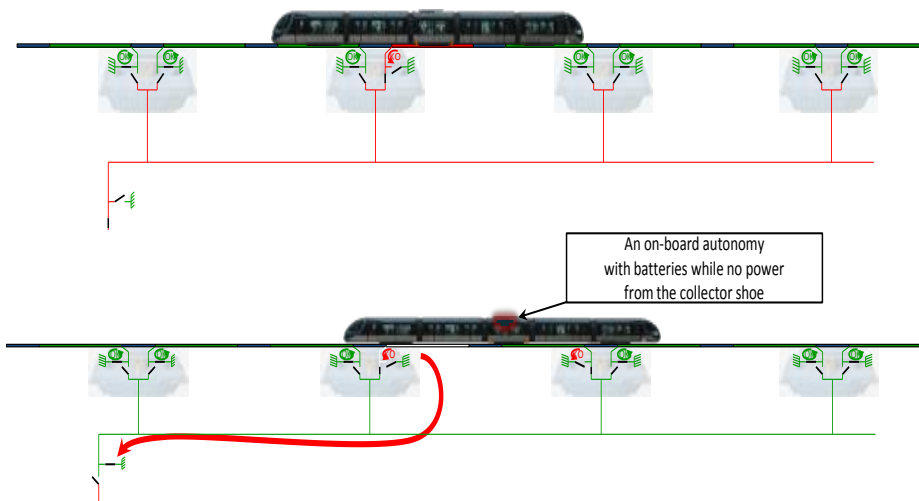
La longitud de la sección neutra de aislamiento permite el cruce de zonas específicas, como en desvíos o el cruce de mecanismos de conmutación con un suministro ininterrumpido de energía. El carril de potencia proporciona una polaridad segmentada de la fuente de alimentación de CC a través de la capa conductora superficial (véase el Cuadro 3-14, marcada en color cian), y la otra polaridad se da a través del carril de rodadura a una tensión muy cercana a la tensión de tierra.

Las subestaciones que alimentan el riel se localizan cada dos segmentos (22 m); tienen dos seccionadores (uno aguas arriba, otro aguas abajo) que gobiernan el paso de la corriente entre los segmentos. Estas subestaciones poseen elementos tales como:

- **Envoltorio impermeable**, que protege ante humedad y polvo, y aísla el elemento ante contacto eléctrico accidental.
- **Seccionadores (C_O , C_M)**, que permiten o impiden el paso de la corriente.
- **Seccionador de puesta a tierra (IS)**, para neutralizar los segmentos.
- **Unidad de control electrónica**.
- **Unidad de comunicación por radio**.

El diseño de la subestación se basa en el principio de *seguridad intrínseca*, pues cualquier problema o fallo hace que el IS se accione, cortando el suministro de la corriente.

El funcionamiento de toda la instalación se puede resumir en lo siguiente: cuando un colector del vehículo entra en un segmento neutro o una subestación aislada, la energía se absorbe del segundo colector. Los seccionadores C_O sólo se abren o cierran cuando el colector está en la zona neutral. La subestación siempre recibe una señal de seguridad; de lo contrario, abrirá el circuito y dejará por defecto un tramo de 2 km sin alimentar.



Cuadro 3-15: Esquema de funcionamiento del sistema APS.

Superior: alimentación entre zonas neutras.
Inferior: funcionamiento de la señal de seguridad.

Fuente: Oscar Olsson

3.2.2.2 Desarrollo: eRoad Arlanda y VästSvenska Elvägar

En 2011, Elways y NCC han desarrollado una tecnología ERS alimentada por un riel soterrado, en colaboración con diversas empresas, como el fabricante de camiones DAF, o más recientemente Volvo, e incluso la corporación Alstom.

Así, dos años después, en junio de 2013, se había constituido un tendido de pruebas de en la ruta 893, entre la terminal de carga de Arlanda y el polígono industrial de Rosersberg, en Suecia. Primero, siendo 200 metros, y luego extendiéndose hasta los dos kilómetros, diversos vehículos, entre los que se encuentra un camión DAF de 18 toneladas y dos ejes, con dos motores eléctricos de 226 kW, una batería de 80 kWh, han transitado por la carretera de pruebas.

Adaptando la tecnología APS a un vehículo como un camión, el sistema se diseñó en segmentos de doce metros, instalados debajo de la calzada. El sistema contó con resistencias para prevenir la formación de hielo, y sistemas de drenaje para evitar que el riel se inunde. El diseño intrínseco del elemento conductor dificultaba el contacto accidental entre éste y otros elementos ajenos.

Económicamente, el proyecto tuvo un coste de 50 millones de coronas suecas (4,7 millones de euros).

El estado más reciente del programa está protagonizado por el dúo de empresas Volvo y Alstom, optimizando el método de transmisión de energía con un sistema de activación de los rieles por radio, y un diseño más robusto para las condiciones reales de la calzada. Como medida de seguridad extra, la corriente sólo se transmite cuando el camión se mueva a más de 60 km/h. Para el testeo de este proyecto, un camión Volvo FH 12, con tracción diésel-eléctrica, alimentado con una línea a 750 V.



Fuente: eRoad Arlanda; NCC



Cuadro 3-17: Detalle de los avances realizados por Alstom.

Izquierda: camión Volvo FH12 adaptado con el sistema APS optimizado; puede verse cómo el diseño de riel estrecho se ha abandonado en pro de dos láminas conductoras más espaciadas y de mayor tamaño. Sólo se energizan cuando pasa un vehículo a través de ellas.

Derecha: detalle del colector, rediseñado para recibir la corriente del nuevo sistema.

Fuente: Alstom

3.2.3 Alimentación por inducción

3.2.3.1 Fundamento

Un ERS basado en un sistema de alimentación por inducción difiere de las otras dos opciones comentadas en que la energía eléctrica no precisa de un colector que comunique la línea de alimentación con el vehículo a propulsar. En cambio, se basa en el principio de inducción eléctrica.

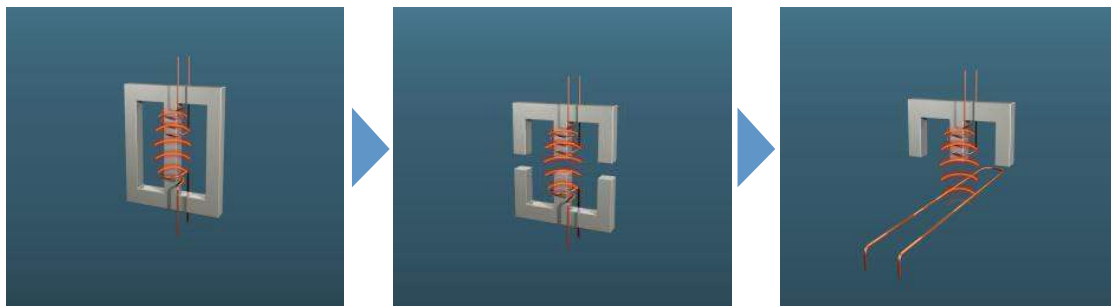
La carga inalámbrica se basa en la transferencia de energía inductiva de alta potencia entre el elemento energizado, enterrado en el suelo, y una serie de equipos receptores instalados debajo del vehículo. El sistema de control de carga se comunica con el vehículo para iniciar el proceso de carga sin contacto automáticamente, tan pronto como el vehículo cubra por completo el segmento de carga.

Este sistema induce energía sin contacto con gran eficiencia. Los vehículos que emplean este sistema pueden cargarse de forma rápida y continua, ya sea en movimiento (carga dinámica) o en reposo (carga estática), sin necesidad de vehículos de flota adicionales o baterías.

Para entender el proceso que permite la transmisión inductiva de energía, puede hacerse una analogía con un transformador convencional de corriente alterna; éste posee un

núcleo de hierro laminado que conduce el flujo magnético del primario del transformador al secundario sin apenas pérdidas.

El transformador funcionaría incluso si existiera un hueco entre el núcleo de hierro, y esa ventaja es la que se aprovecha en el sistema; el primario del transformador puede equivalerse con un hilo, formando un bucle que induzca energía al secundario.



Cuadro 3-18: Principio de la alimentación por inducción.

Izquierda: Esquema de un transformador de CA acorazado convencional; en gris, el núcleo de hierro, que se encarga de comunicar los dos devanados. En la parte inferior, devanado primario, el cual induce un flujo magnético al núcleo, comunicándolo al devanado secundario, en la parte superior.

Centro: si se rompe el núcleo en dos partes, dejando un hueco entre ambas, el flujo magnético seguiría circulando por el entrehierro así formado, pues el aire es un conductor magnético relativamente bueno.

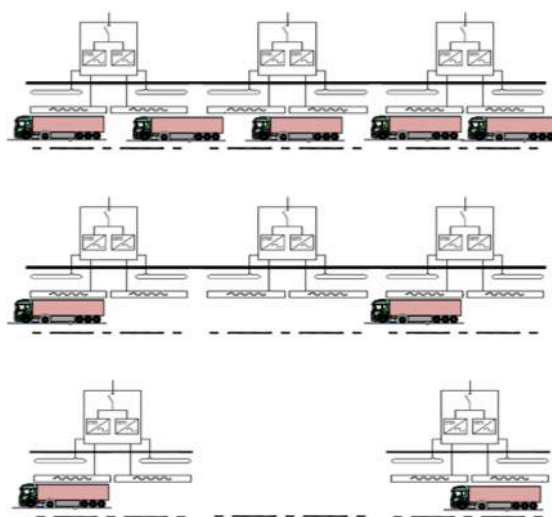
Derecha: la transmisión del flujo magnético puede equivalerse si se elimina el seminúcleo inferior, y se desarrolla el devanado en un lazo a lo largo de un trazado de longitud indefinida. Para una mayor eficiencia, el seminúcleo superior está hecho de ferrita.

Fuente: Oscar Olsson

Es esencial entender en este sistema cómo los cambios de concepto afectan al dimensionamiento del sistema:

El número de componentes en la carretera (por ejemplo, cables) y al lado de ésta (inversores) no aumenta si la carga de tráfico crece, en el caso de que se instalen cargas inductivas (vehículos) en todo el trayecto. Cada vehículo sólo es capaz de absorber la misma potencia por metro de carretera, sin importar la densidad del tráfico, y los componentes han de ser dimensionados desde el principio de acuerdo a la energía necesaria en promedio del tramo completo.

Tiene sentido aumentar la potencia por metro lineal de trayecto si los vehículos pueden obtener una mayor potencia y absorber la energía transferida. Si sólo una parte de la distancia total está



Cuadro 3-19: Diferentes configuraciones de un trazado alimentado por inducción.

Arriba: 120 kW/vehículo, tráfico intenso, red continua.

Centro: 120 kW/vehículo, tráfico ligero, red continua.

Abajo: 200 kW/vehículo, tráfico ligero, red discontinua.

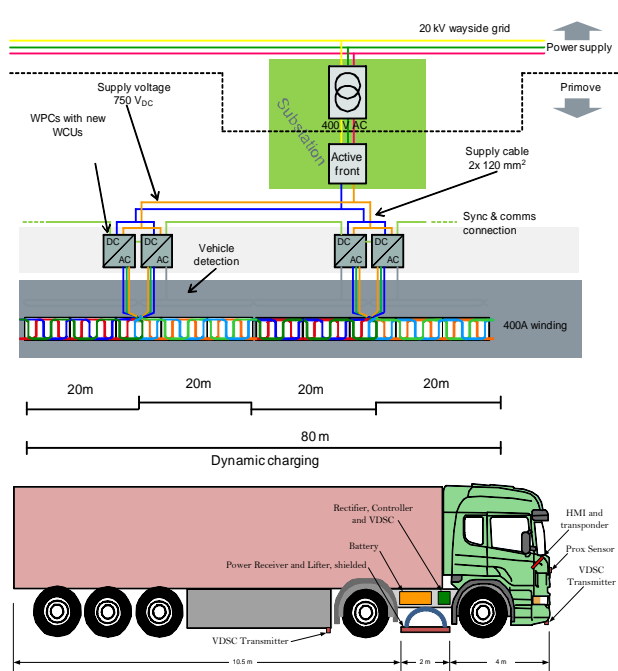
Fuente: Oscar Olsson

cubierta con el sistema, existiendo *huecos* sin carga, se requiere una mayor tasa de transferencia de energía por metro, para transferir la energía requerida en todo el trayecto

El vehículo en el escenario genérico (ver Cuadro 3-19, centro) puede tener una potencia superior a la que el motor eléctrico puede absorber. La energía transferida entonces se divide entre la batería incorporada y el motor eléctrico. La energía que la batería absorbe es almacenada, y posteriormente utilizada en tramos donde no hay una carretera con carga inductiva instalada.

3.2.3.2 Desarrollo: sistema PRIMOVE

Bombardier, empresa dedicada a los sistemas ferroviarios y equipamiento eléctrico, formó un consorcio en 2013 con el fabricante de camiones Scania para probar la tecnología de alimentación por inducción, bajo el proyecto PRIMOVE.



Cuadro 3-20: Esquemas de funcionamiento del sistema PRIMOVE.

Arriba: diagrama de la instalación eléctrica del sistema de alimentación.

Abajo: esquema de los elementos del vehículo PRIMOVE.

Fuente: Oscar Olsson

El sistema se probó en Mannheim, Alemania; se construyó una pista de pruebas de 300 metros de longitud, donde 80 fueron electrificados con cuatro segmentos de 20 m, intercalándose las secciones de hilo inductor enterrado bajo la calzada. La alimentación era provista por una subestación, con un voltaje de 400 V CA; para alimentar el sistema inductivo se utilizaba un rectificador de pulsos con retroalimentación regenerativa (AFE¹²). Mediante una serie de transmisores de radio, se electrificaban los segmentos al desplazarse el vehículo.

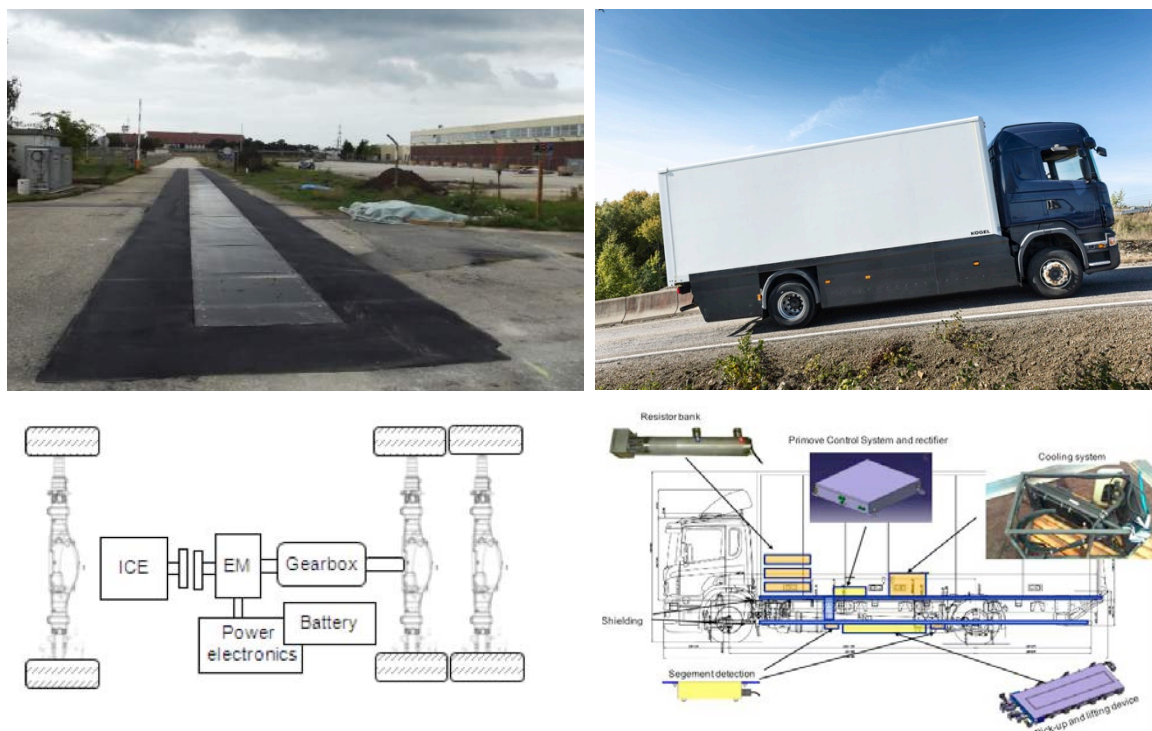
Para el testeo, se utilizó un camión Scania R 480 LB de dos ejes, remotorizado con un motor diésel específicamente diseñado para el proyecto, que funcionaba bajo un sistema en paralelo, con un motor eléctrico y una batería que absorbiera las diferencias en el flujo de energía intercambiado entre la red de alimentación y el vehículo.

¹² En los convertidores Active Front End (AFE), el rectificador de puente de diodos es reemplazado por un rectificador de impulsos autoconmutado con funciones de retroalimentación regenerativa, compuesto por módulos IGBT. El rectificador funciona como un convertidor inteligente, siendo controlado y filtrado para extraer una corriente sin distorsión en forma de seno de la red eléctrica.

El factor de potencia se mantiene normalmente igual a uno. Sin embargo, el rectificador Active Front End puede utilizarse como compensador de fase, lo que permite que los generadores funcionen en $PF \approx 1$ ($\cos \phi \approx 1$) incluso con un alto grado de cargas inductivas/capacitivas conectadas. Así, un convertidor de frecuencia con Active Front End suministra la potencia reactiva necesaria en la red en lugar del generador.

Debido a los potentes campos magnéticos que se forman durante la operación del vehículo, fue necesario instalar un blindaje de aluminio que concentrase las líneas de flujo hacia el devanado secundario del camión.

Si bien se desconoce el coste de tal proyecto, según Olsson (2014), el coste de electrificar una distancia de 440 km (distancia de una autovía media en Suecia), puede oscilar entre 337 y 1090 MSEK (31,8 y 103 MEUR¹³), para el caso de una electrificación dependiente de la red nacional a 130 kV, a 2600 y 6690 MSEK (245,7 y 632,3 MEUR).



Cuadro 3-21: Componentes del prototipo y la pista de pruebas del sistema PRIMOVE.

Izquierda, superior: detalle de la pista de prueba; se aprecia cómo fue necesario un reasfaltado de la pista para instalar los hilos inductores.

Izquierda, inferior: esquema de la planta motriz del camión; el motor eléctrico y la batería distribuían la energía que necesitaban con un sistema de control –“power electronics” en el diagrama–.

Derecha, superior: camión Scania R480 Low Bed utilizado durante las pruebas; nótese los paneles que conforman el blindaje de aluminio, evitando que el flujo magnético interfiera con otros elementos exteriores.

Derecha, inferior: diagrama del camión con los elementos críticos (radiotransmisor, placa inductora, sistemas de refrigeración y auxiliares).

Fuente: Oscar Olsson; Scania

¹³ MSEK: Millones de coronas suecas; MEUR: Millones de euros

3.3 CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE

Tras la exposición del estado del arte de la tecnología de electrificación aplicada al transporte pesado, se pueden inferir una serie de conclusiones, en las que cabe señalar las siguientes:

- En primer lugar, según lo determinado en las experiencias del sistema de asistencia por trole, así como en los actuales sistemas, **el motor eléctrico resulta más eficiente** desde un punto de vista energético **que un motor térmico**, sobre todo en pendientes acusadas, donde el consumo del último motor se dispara, reduciéndose la velocidad de ascenso, mientras que el primero es capaz de continuar la marcha con un ritmo rápido y continuo. De las experiencias derivadas de los proyectos ENUBA, se demostró que la tracción eléctrica puede ser factible en largas distancias.
- Aún siendo más eficiente el motor eléctrico, para la electrificación de las cabezas motrices, la opción más común es la de **remotorización**; a partir de camiones de combustión ya existentes en el mercado, se trata de instalar en ellos un método de propulsión auxiliar, normalmente en una *configuración en paralelo*, al ser una alternativa de bajo coste, sin perder el rendimiento original del motor térmico.
- Respecto a las tres alternativas mencionadas en el estado del arte, quepa mencionarse que la opción de la **línea aérea de contacto es la más impulsada**, según se demuestra en los diversos proyectos futuros a la vista, así por el apoyo que realizan instituciones como el BMU o las agencias suecas de Transporte y Energía, así como por empresas posicionadas en el sector como Siemens o Scania.

La alternativa de la **alimentación por conductor soterrado**, si bien posee **diversos apoyos** por parte de empresas como Alstom, Volvo, y también por parte del gobierno sueco, **no está tan fuertemente desarrollada**, estando en una fase más temprana de desarrollo.

En cuanto a la **alimentación por inducción**, el proyecto PRIMOVE (junto con otros no aplicados ex profeso a camiones, como el proyecto OLEV¹⁴) no ha tenido tanta recepción como las otras dos propuestas, en parte debido a lo costoso de adaptar un vehículo convencional para emplear este tipo de tecnología, así como el coste añadido de emplear un sistema de blindaje frente a campos electromagnéticos. Actualmente el sistema está en una fase muy prematura de desarrollo.

- Observando a los costes, habida cuenta de lo comentado en el estado del arte sobre el aspecto económico, se puede apreciar que (véase la información adjunta en la Tabla 3-2):

¹⁴ El Vehículo Eléctrico Online (OLEV) es un autobús eléctrico que se carga de forma inalámbrica mientras se desplaza gracias al principio de inducción electromagnética. Funciona al circular sobre una carretera de recarga dividida en segmentos que induce una corriente en los módulos de captación del vehículo. OLEV es uno de los primeros sistemas de transporte público que utilizó una carretera de recarga. Fue lanzado por primera vez el 9 de marzo de 2010 por el Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea del Sur (KAIST)

Tabla 3-2: Costes de construcción de las alternativas mencionadas en total vs. su coste unitario.

Fuente: Scania; Siemens; Oscar Olsson

	eHighway*	eRoad Arlanda	PRIMOVE**
Coste del proyecto	7,3 MEUR ¹	4,7 MEUR	31,8 MEUR ³
	16,8 MEUR ²		632,3 MEUR ⁴
Coste por kilómetro	3,65 MEUR ¹	2,35 MEUR	70 000 EUR ³
	1,68 MEUR ²		15,81 MEUR ⁴

(*): el primer precio hace mención al coste ejecutado por el proyecto ENUBA (1), el segundo, al coste proyectado para el proyecto ELISA (2).

(**): el primer precio se refiere al caso más optimista del proyecto (3), el segundo, al más pesimista (4).

- De la Tabla 3-2 se puede concluir que los costes de **las dos primeras alternativas** (eHighway y eRoad Arlanda) **compiten bastante en precio**, siendo el grado de desarrollo uno de los grandes influyentes en el coste. Con respecto a la última alternativa, PRIMOVE, la no definición de unos costes reales, junto a la temprana fase de desarrollo en la que se encuentra el proyecto, hacen que las previsiones de esta opción sean poco fiables.
- En el caso de los sistemas de alimentación por contacto, **está bastante asentado el uso de corriente continua** para el suministro de la corriente a los motores eléctricos. Por el contrario, en el método de alimentación por inducción, se emplea corriente alterna. El uso preferente de la corriente continua se debe a, entre otras razones, su idoneidad para propulsar motores de velocidad variable, así como el hecho de que la circuitería de los vehículos está diseñada para dicho tipo de corriente. Aún así, el transporte de energía eléctrica en corriente continua, a los niveles a los que se realiza, no es tan eficiente como en corriente alterna.
- **La infraestructura es uno de los puntos débiles** en la electrificación de una autopista: las tres alternativas requieren una actuación en la calzada bastante agresiva; el caso de la opción de la línea aérea de contacto es la que más impacto visual puede ofrecer, pero por otro lado, las otras alternativas (conductor soterrado y de inducción) precisan de obra directamente en la calzada, por lo que podría suponer un obstáculo mayor que la primera opción para construir la infraestructura necesaria.

PARTE 2

4 METODOLOGÍA

La concepción de un ERS es una tarea compleja, requiriendo para su consecución una metodología que encamine el propósito del estudio. Por este motivo, se establece de manera que no sólo describa las fases del proceso del estudio, sino que además, ofrezca unas pautas sobre lo necesario para realizar dicho proceso. Esto queda reflejado en un **modelo prescriptivo** (véase Gráfico 4-1), que sirve de esqueleto para conformar la metodología de este estudio.

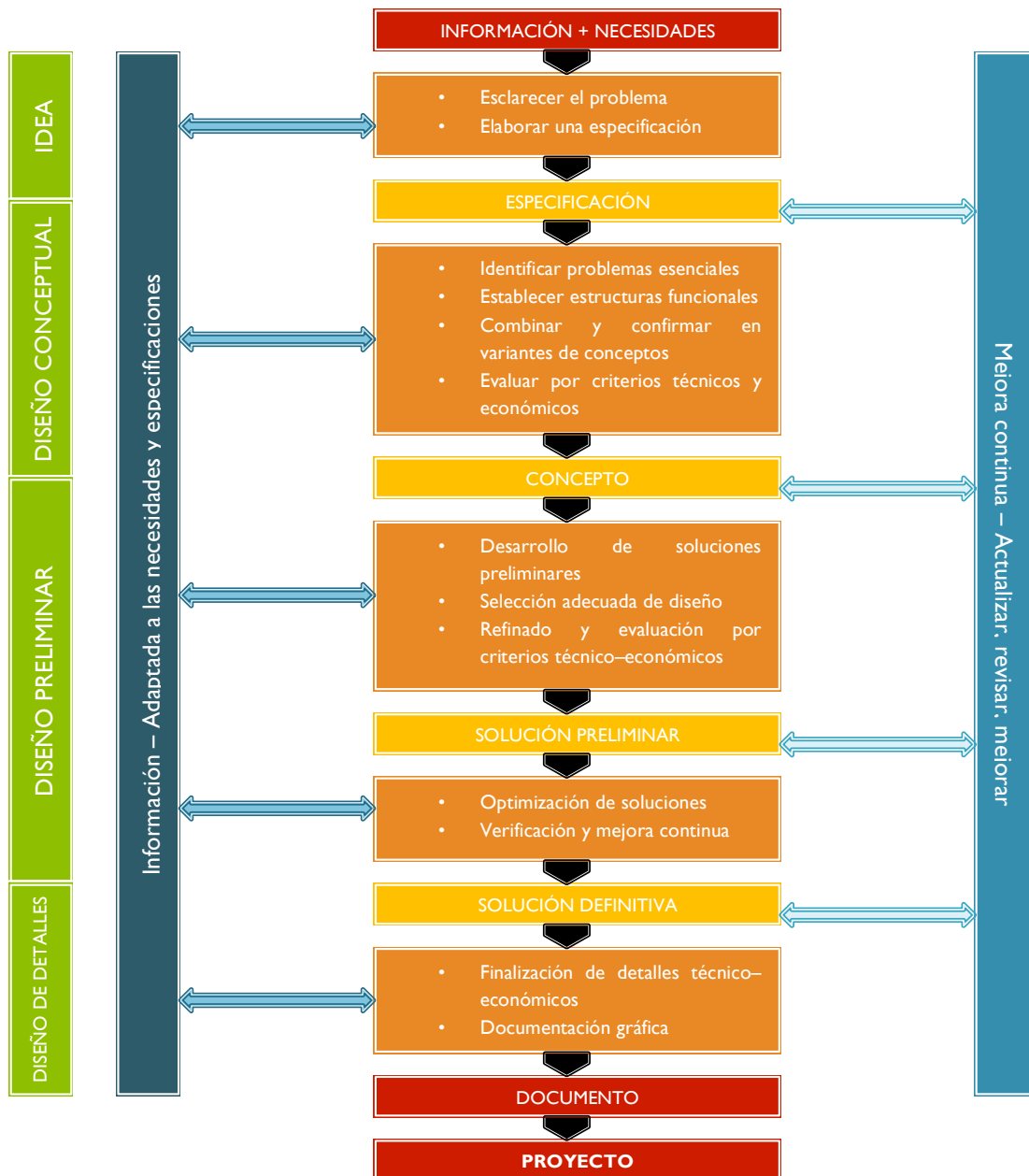


Gráfico 4-1: Modelo prescriptivo empleado en la concepción de estudios y proyectos energéticos.

(Elaboración del autor)

A partir de éste, ha de adaptarse a los requerimientos y objetivos del estudio, de lo que se deriva la metodología ilustrada en el Gráfico 4-2.

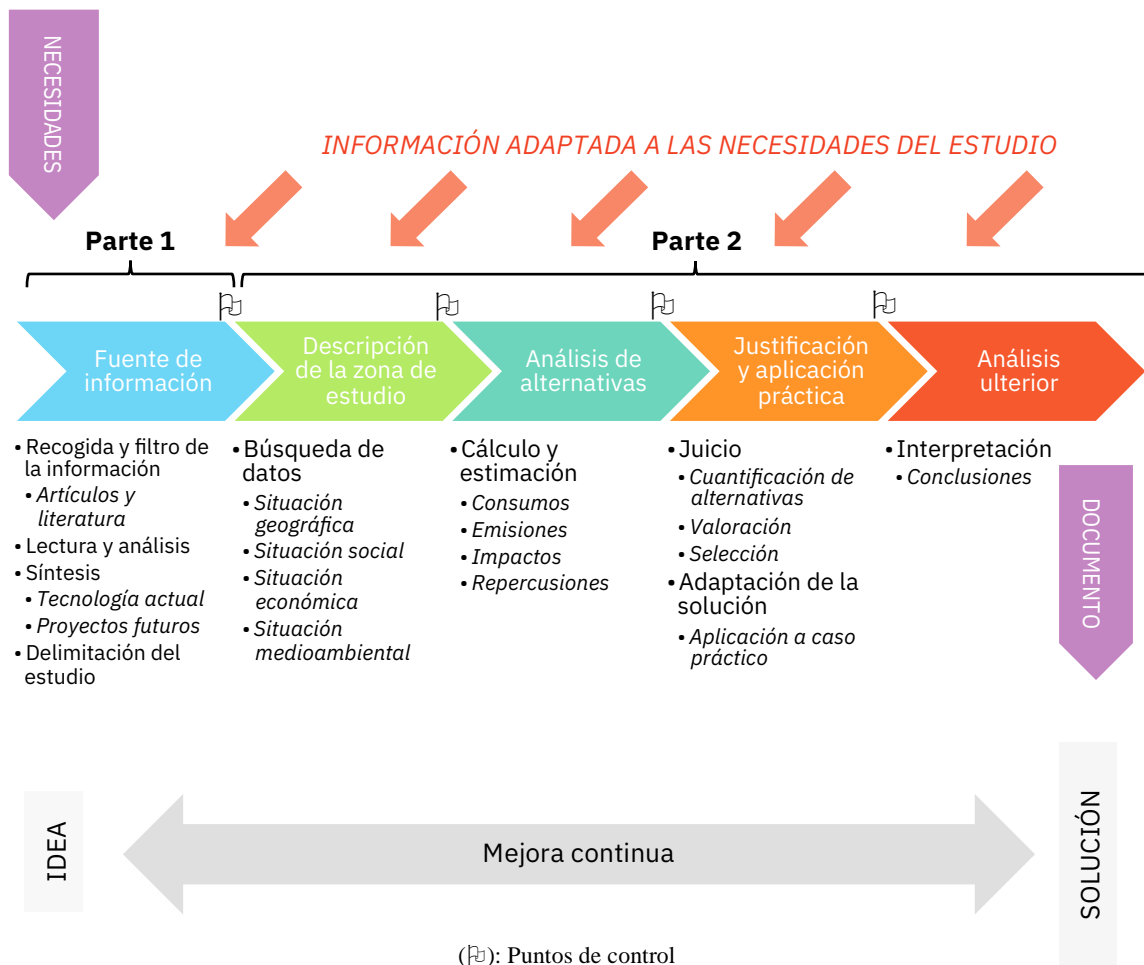


Gráfico 4-2: Esquema de la metodología adaptada a las necesidades del estudio.

(Elaboración del autor)

En la realización de este estudio, se puede definir una serie de etapas implícitas dentro de la estructura del mismo, que se pueden resumir del siguiente modo:

Problema: necesidades a cubrir con un documento descriptivo y justificativo.

1. **Definición:** límites y alcance del proyecto (**objetivos**).
2. **Idea:** definir tipo de solución al problema (**título**).
3. **Descomposición:** disgregar los elementos intervinientes en el problema (**índice**).
4. **Recopilación de datos:** información, conocimiento del problema; estudio de sistemas y aplicaciones del problema (**descripción técnica – estudio del arte**).
5. **Análisis de datos:** pasos para la resolución del proyecto (**planteamiento preliminar**).

- ↓
6. *Método de desarrollo*: planteamiento del desarrollo de la resolución (**cálculo y desarrollo de la solución**).
 7. *Verificación*: comprobación de la adecuada resolución del problema (**mejora continua**).

Solución: documento en donde se recoge la solución y su ejecución.

Para conseguir llevar a cabo lo propuesto en la metodología del presente estudio, se divide la consecución de éste en dos partes diferenciadas:

La **Parte 1**, se encarga de la fase correspondiente a la *recogida y análisis de la información*; en donde se comenta un resumen de las vías de electrificación existentes, se definen los límites del presente estudio, y con el estado del arte, se recopilan y se presentan la tecnología actual en el campo de la electrificación, la línea actual de los proyectos futuros, y las conclusiones derivadas de la literatura recogida en este punto. Para la realización de esta fase, es necesario hacer primero una recolección y filtrado de la información, una lectura y análisis posterior, y una síntesis que queda recogida en los apartados mencionados previamente.

A continuación de ésta, la **Parte 2** es la que almacena el resto de la carga de estudio, en donde se hallan la *descripción de la zona de estudio*, *el análisis de las alternativas*, *la justificación y aplicación práctica de la solución*, y un *análisis ulterior*. En esta parte, ha de describirse el campo físico donde se pretende desarrollar este tipo de tecnología, en sus variables más relevantes (como la situación geográfica, la social y económica, y la medioambiental). Con este fin, una búsqueda de datos sobre las variables mencionadas permite hacer un documento de síntesis que plasme la situación del entorno de estudio.

A posteriori, el análisis de las alternativas comentadas en el estudio del arte, se hace atendiendo a los criterios de viabilidad técnica, impacto social y ambiental, y repercusiones económicas, en base a cuatro alternativas: una basada en un entorno sin actuación, y otras tres referidas a las diferentes propuestas de electrificación. Los factores considerados se definen como claves en la instauración de un sistema de electrificación, pues son los más susceptibles de sufrir cambio en una posible actuación. Comprende un cálculo y estimación de tales criterios, a partir de una matriz de rastreo – ver Tabla 4-1 y ecuaciones (4-1), (4-2) y (4-3)–; determinados criterios son directamente medibles al estar presentes in situ en el momento de estudio, otros deben ser estimados en base a las predicciones de uso, que se derivan de las conclusiones del estado del arte.

De lo obtenido en este apartado de análisis, se basa la justificación de la solución adoptada; para esto, el juicio de alternativas da un valor tangible a cada uno de los aspectos comentados en la fase anterior, permitiendo escoger una solución de forma objetiva y razonada. Esto conlleva una adaptación de la solución al entorno estudiado, realizando una posible adaptación a caso práctico, detallando los aspectos más relevantes para su posible materialización.

Por último, el análisis ulterior recoge la interpretación de todo lo comentado en el estudio: mediante unos comentarios, se hace una expresión de los puntos más relevantes y aspectos por mejorar. Pretende dar un valor añadido a los esfuerzos ya realizados en otros trabajos, indicando posibles vías de progreso en la materia.

La consecución del estudio requiere una organización, con el fin de optimizar los tiempos y los medios dispuestos. Mediante una EDT¹⁵, se desglosa el contenido de las tareas que comprende la realización de dicho trabajo (véanse Gráfico 4-3 y Gráfico 4-4).

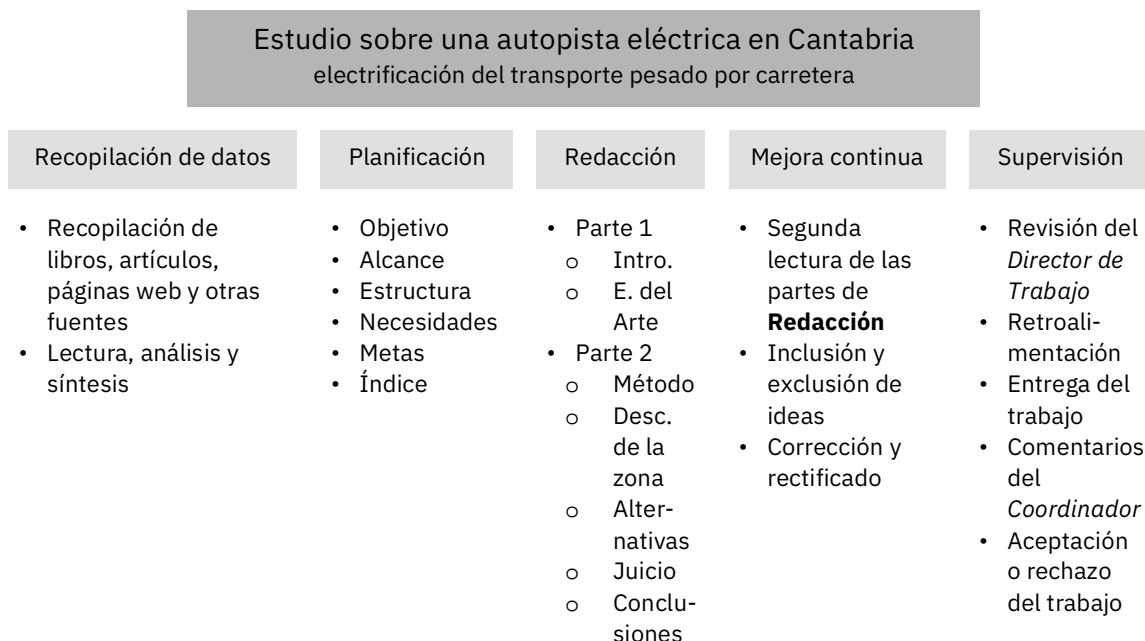


Gráfico 4-3: EDT del estudio.

(Elaboración del autor)

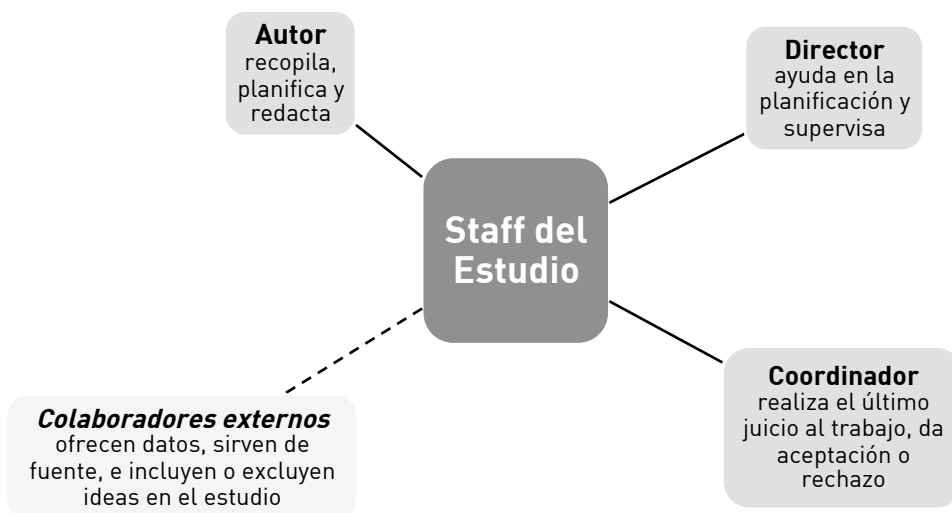


Gráfico 4-4: Composición del equipo de trabajo del estudio.

(Elaboración del autor)

¹⁵ Estructura de Descomposición del Trabajo: es una herramienta que descompone de forma jerárquica el trabajo, orientado al entregable, que va a ser ejecutado por el equipo de proyecto, para cumplir con sus objetivos y crear los entregables requeridos: cada nivel descendente de la EDT incrementa el detalle del trabajo de proyecto.

Tabla 4-1: Modelo de matriz de rastreo empleada en el estudio

(Elaboración del autor)

Aspecto	Concepto 1								Concepto 2								TOTAL	PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO RESPECTO A ESCENARIO IDEAL	MEJORA RESPECTO A ALTERNATIVA CERO	
Criterio	Baremo 1								Baremo 2											
	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Variable 4	Variable 5	Variable 6	Variable 7	SUBTOTAL	Variable 1'	Variable 2'	Variable 3'	Variable 4'	Variable 5'	Variable 6'	Variable 7'	Variable 8'	SUBTOTAL'			
Alternativa 0																				
Alternativa j																				
Alternativa k																				
Alternativa l																				
Escenario ideal	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	114	100 %	
Peso	G(1)								G(2)											

$$TOTAL = G(1) \cdot Variable\ 1 + G(1) \cdot Variable\ 2 + \dots + G(2) \cdot Variable\ 1' + G(2) \cdot Variable\ 2' + \dots$$

$$TOTAL = SUBTOTAL \cdot G(1) + SUBTOTAL' \cdot G(2) + \dots$$

(4-1)

$$PORCENTAJE\ DE\ CUMPLIMIENTO\ RESPECTO\ A\ ESCENARIO\ IDEAL = \frac{TOTAL_i}{TOTAL_{ideal}}$$

(4-2)

$$MEJORA\ RESPECTO\ A\ ALTERNATIVA\ CERO = \frac{TOTAL_i}{TOTAL_0}$$

(4-3)

5 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El entorno del proyecto se enmarca entre las localidades de Torrelavega y Santander, dentro de la comunidad autónoma de Cantabria, España.

Para conocer el entorno donde se desea analizar la implantación de una autopista eléctrica, ha de conocerse el medio en sus tres variables: la geológica, la socioeconómica y la medioambiental, atendiendo a la división del entorno en los medios social, natural vivo, y natural inerte que lo componen.

5.1 SITUACIÓN GEOLÓGICA

La zona objeto de estudio se sitúa en el norte de la Península Ibérica, concretamente en la parte oriental de la Cornisa Cantábrica, y en la porción occidental de la Cuenca Cantábrica. Los materiales más comunes de la zona pertenecen al periodo Cretácico, en la era del Mesozoico. Tales materiales se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos cuaternarios aluviales, causados por la dinámica de los ríos Pas y Saja.

Atendiendo a un criterio estructural, la zona posee una fuerte tectónica del ciclo Alpino, existiendo una fracturación diapírica, lo que provoca que las estructuras de plegamiento se corten.

El relieve es bastante suave en general, estando las líneas de cumbre y los cursos fluviales dirigidos hacia una dirección este-noreste y oeste-suroeste. De forma aproximada, estas direcciones de tendencia coinciden con la dirección de las estructuras orográficas más importantes de la zona.

Asimismo, este relieve se ve afectado por la litología: la alteración de los materiales cretácicos y la pluviosidad existente causa unos suelos de alteración. Junto con una cubierta vegetal, la morfología del terreno proporciona una superficie muy suavizada.



Cuadro 5-1: Situación del entorno del proyecto.

Arriba: Localización de España dentro de Europa.

Centro: Localización de Cantabria dentro de España.

Abajo: Mapa de relieve de Cantabria. En un cuadrado rojo, señalada la zona de estudio.

Fuente: Wikimedia Commons

Esto conlleva del mismo modo a ocasionales deslizamientos de ladera y fenómenos de reptación y solifluxión a favor de la pendiente. De forma puntual, asociadas a unidades calcáreas del Cretácico aparecen pequeñas torcas de colapso.

Las mineralizaciones existentes se recogen en las dolomías del Aptiense. El Gargasiense-Clansayense permanece dolotomizado o ser de naturaleza caliza en su extensión. El origen de las dolomías es incierto, aunque se destaca que la dolotomización es más amplia en zonas de falla (como ocurre en Reocín).

Las metalizaciones aparecen distribuidas en columnas de diez a cuarenta metros de ancho, dirigidas predominantemente al norte. Las columnas poseen en su extremo materiales detríticos o brechoideos, donde la blenda envuelve los clastos en determinadas ocasiones.

Los yacimientos que existen en esta zona son de zinc, en una concentración del 6% al 15% y de plomo, en un máximo del 2% de concentración. Existe hierro en forma de pirita al oeste de Reocín, en fallas principalente. Estos yacimientos tienen un origen *singenético*.

Este zinc ha sido explotado de forma continua desde 1856 hasta 2003, debido a que la blenda de la que se extrae dicho elemento se sitúa en el flanco suroeste del sinclinal de Santillana del Mar, una estructura alpina estratiforme de blenda, galena y marcasita, encajado en dolomías ankeríticas.

La mineralización primaria del yacimiento está constituida por Blenda (ZnS), Galena (PbS), Pirita - Marcasita (FeS), mena encajada en una ganga de dolomías con dolomita, calcita y ankerita; y una mineralización secundaria de Smithsonita ($ZnCO_3$). Cerusita ($PbCO$), Goethita (Fe, O, H_2O), Melanterita ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) y Epsomita ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), que predominaban en los afloramientos de la mina.

El muro de este yacimiento está marcado por una dolomía margosa. El yacimiento tiene una dirección norte, con una dimensión de 3500 por 800 metros, con una potencia mineralizada entre los dos a cuarenta metros, con un buzamiento medio de 23' N.

Teniendo en cuenta la hidrogeología, la zona objeto de estudio está dentro de la cuenca hidrográfica del Norte (área Norte II, sistema acuífero número 4: Santander-Santillana-San Vicente de la Barquera, en la Unidad Diapirizada de Santander).

Destacan los acuíferos de Camargo y Peña Cabarga, englobando en su litología calizas, calcarenitas, dolomías, arenas y limos. Todos ellos están dentro del periodo Cretácico.

También quepa mencionar la existencia de manantiales, localizados de forma preferencial en zonas de fractura y entre formaciones geológicas con diferente permeabilidad. Generalmente, se ubican en materiales cretácicos granulares sobre una serie de niveles cohesivos.

Diversos fenómenos de riesgo geológico a tener en cuenta son la inestabilidad de laderas, presencia de formaciones de yeso del Keuper (sobre todo en la zona de Polanco), existencia de calizas kársticas, y un drenaje pobre de los materiales en ubicaciones inundables.

Los niveles de aceleración sísmica en la zona son inferiores a 0,04 g (no obliga a aplicar la Norma de Construcción Sismorresistente NSCP-07).

5.2 SITUACIÓN SOCIOECONÓMICA

La Comunidad Autónoma de Cantabria se define como una región conformada por una sola provincia, situada en el norte de España. Limita al este con el País Vasco, al oeste con el Principado de Asturias, y al sur con las provincias de Burgos, Palencia y León, pertenecientes a la comunidad de Castilla y León. La capital y ciudad más poblada de la región es Santander.

Como datos rápidos, posee una extensión de 5321 km², su población asciende a 580 229 habitantes (ref. a 2018), distribuidos en 102 municipios. Su PIB total es de 12 918 MEUR, o 22 328 EUR per cápita, siendo la decimosexta región más rica de España.

5.2.1 Gobierno y administración

La institución principal de gobierno en la región es el Parlamento de Cantabria, miembro representativo del pueblo cántabro. Realiza leyes propias a su competencia, asigna y aprueba el gasto público realizado en la Comunidad, y controla la acción del Gobierno de Cantabria, encargado de encabezar la acción política bajo la función ejecutiva. Está compuesto por la Presidencia y una serie de Consejerías:

- Vicepresidencia y Consejería de Universidades, Investigación, Medio Ambiente y Políticas Sociales
- Consejería de Presidencia y Justicia
- Consejería de Innovación, Industria, Turismo y Comercio
- Consejería de Obras Públicas y Vivienda
- Consejería de Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural
- Consejería de Economía, Hacienda y Empleo
- Consejería de Sanidad
- Consejería de Educación, Cultura y Deporte

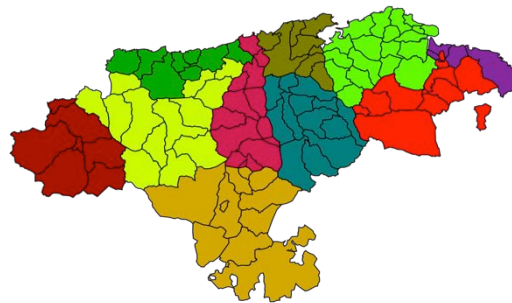
Del mismo modo, en este apartado ha de tenerse en consideración la influencia y apoyo de los ayuntamientos de aquellas localidades por las que discurre el proyecto.

5.2.2 División territorial y entorno sociodemográfico

La región se divide en diez comarcas, como se puede ver en el Cuadro 5-2. Por debajo de éstas, se extienden los municipios, las localidades y los barrios.

Las comarcas no son entes con poder de gobierno, pero sí sirven como referencia para acotar las distintas zonas de la región.

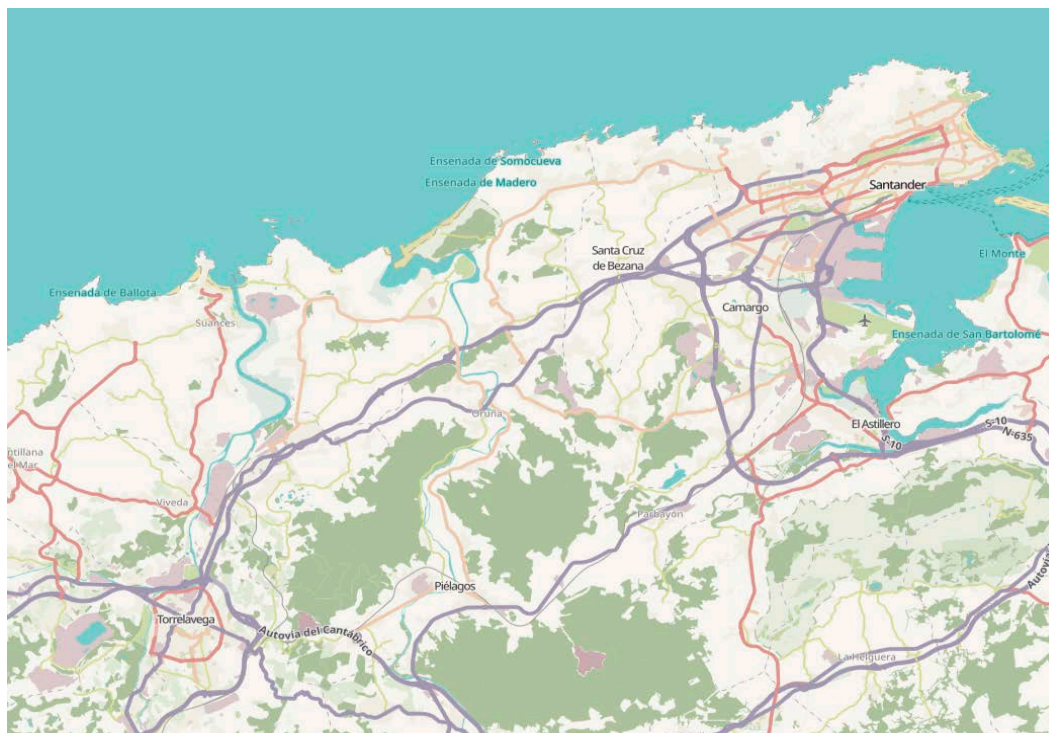
De todas éstas, por la demarcación de la zona de estudio se destacan la comarca del Besaya y el área metropolitana de Santander. En ellas, cabe reseñar, de norte a sur (véase el Cuadro 5-3):



Cuadro 5-2: Comarcas de Cantabria.

Asón-Agüera	Liébana
Besaya	Saja-Nansa
Campoo-Los Valles	Santander
Costa Occidental	Trasmiera
Costa Oriental	Valles Pasiegos

Fuente: Wikimedia Commons



Cuadro 5-3: Delimitación geográfica de la zona de estudio.

Fuente: OpenStreetMap

5.2.2.1 Santander

Se define como la capital y municipio más grande de la comunidad, con 172 044 habitantes¹⁶. Geográficamente, se encuentra limitada por el mar Cantábrico, la Bahía de Santander, y el monte de Peñacastillo. En su término municipal se incluyen las localidades de Monte, Cueto, San Román de la Llanilla, y Peñacastillo, en un total de 34 km².

Tabla 5-1: Medio físico de Santander

Fuente: ICANE

	Santander
Máxima cota	108 m
Mínima cota	0 m
Altitud media	8 msnm
Distancia a la capital (Madrid)	428 km ¹⁷ /336 km ¹⁸
Coordenadas	43°28'00''N 3°48'00''O

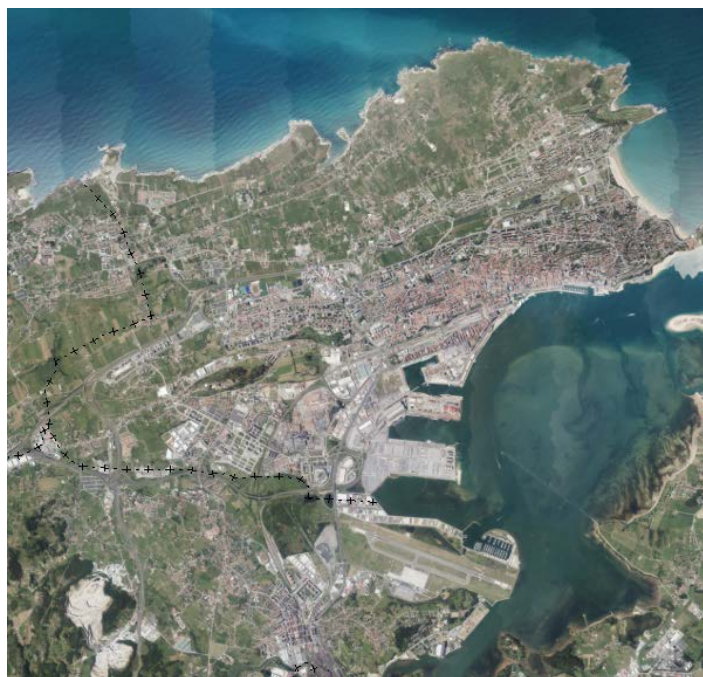
¹⁶ Datos del Instituto Nacional de Estadística, 2018.

¹⁷ Distancia recorrida por la Red de Carreteras del Estado

¹⁸ Distancia recorrida en línea recta

• Historia

Si bien los comienzos de la ciudad se remontan al Paleolítico y Mesolítico, no fue hasta la llegada de los romanos, cuando empezó a haber un asentamiento humano permanente en forma de villa. Debido a la orografía del lugar, las legiones romanas desembarcaron en este lugar, deminiando al sitio *Portus Victoriae*¹⁹. En la Magdalena y Peña Cabarga existen vestigios de su paso por la zona, en forma de mosaicos, un sextercio de bronce, y restos de antiguas minas.



Cuadro 5-4: Imagen fotogramétrica de la ciudad de Santander.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

En 1068, en el Cartulario de San Salvador del Moral, el rey Sancho de Castilla, enuncia al *Puerto de San Emeterio* como autorizado a los derechos de pasto y madera. Este documento constituye el origen etimológico del nombre de la ciudad.

En 1187, fue concedido el estatus de *villa* por Alfonso VIII de Castilla. A finales del siglo XIII, Santander se consolidó como uno de los puertos más prolíficos de la costa norte de Castilla, y sus marinos eran considerados como hombres de gran fama y respeto, tanto por el manejo de sus navíos como por sus hazañas en combate. Durante ese siglo y el siguiente, la ciudad quedaba dividida en dos núcleos: la *Puebla Vieja* en la parte alta, y la *Puebla Nueva*, hogar de artesanos y mercaderes.

En el siglo XV, la población se mantenía entre seis mil y siete mil habitantes, pero la peste en 1497 se cobró alrededor de cinco mil vidas, y otras epidemias traídas desde los navíos mercantes redujeron las seiscientas viviendas de la villa a sólo doscientas habitadas. Este hecho frenó la expansión de la ciudad, en una recesión que se mantuvo durante todo el siglo XVII.

En 1755, el rey Fernando VI otorgó el estatus de ciudad a Santander, y el papa Benedicto XIV creó la Diócesis de la Montaña. Asimismo, el comercio de lanas fue desviado hacia los puertos santanderinos, y se tendió un camino para permitir este comercio desde Burgos vía Reinosa. Todo ello estimuló en gran manera la maltrecha economía. El incendio de 1763 sirvió de pretexto para la ampliación de los muelles, y en 1765 la ciudad fue transformada urbanísticamente.

Santander, gracias al crecimiento de las rutas comerciales con La Habana, Montevideo, Buenos Aires; Veracruz y Cartagena, pero también con Reinosa, y Palencia, notó una expansión en todas sus dimensiones que, en el siglo XIX, le permitió empezar a

¹⁹ Del latín; “puerto de la victoria”.

industrializarse (harineras, cervecerías, azucareras), y en 1857, también empezó su andadura en el mercado financiero, con el Banco de Santander.

En 1866, Santander recibió el ferrocarril, uniéndola con Castilla por Alar del Rey. Éste fue el pináculo de una tendencia continua de crecimiento, que terminó con la Guerra de Cuba. En ese momento, 45 000 habitantes se ubicaban en la ciudad. En 1900, surge el sector turístico con la apertura al público del Palacio de la Magdalena, y en 1932, fue creada la Universidad Internacional Menéndez Pelayo.

Tras la Guerra Civil, y el incendio del 16 de febrero de 1941, Santander tuvo la oportunidad de remodelarse, reconstruyendo su casco antiguo, y expandiéndose por La Albericia, Campogiro y Peñacastillo.

Surgieron las aldeas de San Román de la Llanilla, Monte, Cueto y Peñacastillo. El éxodo rural y la industrialización de la economía permitieron un crecimiento, reflejado en la construcción del aeropuerto de Parayas y el Polígono de Raos.

En 1981, Santander se convierte en la capital de la nueva Comunidad Autónoma de Cantabria, el sector de los servicios empezó a mostrar crecimiento, y las antiguas fábricas dejaron paso a espacios comerciales. Varios proyectos de infraestructuras, como la Autovía Cantabria-Meseta, la actualización del trazado ferroviario con Palencia, y la mejora de las instalaciones del Aeropuerto Seve-Ballesteros, se acometieron durante finales de los noventa y principios del siglo XXI.

• Sector primario

En el municipio de Santander la agricultura y ganadería es testimonial. Se concentra en la periferia. Si bien en el pasado, la actividad primaria estaba fuertemente representada, la tendencia de la economía primero a la industrialización y luego al sector servicios, han provocado el descenso de personas ocupadas en el sector primario.

Cabe destacar que sólo la pesca, fuertemente arraigada en la tradición de la ciudad, y más de zonas como el Barrio Pesquero, se mantiene como actividad económica de este sector.

Tabla 5-2: Sector primario en Santander.

Fuente: ICANE

	Santander	Cantabria
Superficie (km)	34,8	5 310
Superficie Agraria Útil (SAU) en km	12,6	2 763,9
SAU (%) respecto a la superficie municipal	36,2	52,1
Número de explotación	222	18 461
Titulares físicos	216	17 224
Unidades ganaderas	2 196	311 072

• Sector secundario

El 23% de los habitantes de Santander se dedica al sector industrial y a la construcción (un 13,9% y un 9,8%, respectivamente). En Nueva Montaña (Peñacastillo), se sitúa la fábrica de Global Steel Wire (antigua acería de Quijano S.A.), una empresa siderúrgica encargada de la fabricación de alambres y soportes de acero.

Existen cerca de esta zona numerosas empresas dedicadas a la fabricación de hormigones y cementos (Hormisa, Cementos Alfa), localizadas en el polígono de Raos, que se beneficia de la actividad del Puerto de Santander.

Desde éste, se exportan de las fábricas de Palencia y Valladolid principalmente automóviles a otras regiones de Europa y el resto del mundo. Otras mercancías movidas son papel, productos madereros, y el tráfico de graneles.

Tabla 5-3: Número de empresas del sector secundario en Santander.

Fuente: ICANE

	Santander	Cantabria
Actividad industrial	651	2 897
Actividad de construcción	1 081	5 720

• Sector terciario

Es el más prolífico de los sectores, ocupando al 71% de la población trabajadora. Se enfoca en los sectores financiero, sanitario, comercial, la hostelería y los organismos públicos. De todos ellos, el turismo de la ciudad ha impulsado el establecimiento de hoteles, cafeterías y demás instalaciones recreativas. El reclamo cultural es también notable, por la actividad de la UIMP y los congresos y eventos del Palacio de Festivales de la ciudad.

Santander es líder en el llamado *sector cuaternario*, conformado por la investigación y desarrollo de técnicas y productos. Es sede de la Universidad de Cantabria, el Instituto de Hidráulica, el Instituto de Biomedicina y Biotecnología, el Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, y el Parque Científico y Tecnológico de Cantabria.

El sector transportes está bastante desarrollado: Santander está comunicada por tierra (ferrocarril y autovía hacia Palencia, y Bilbao), mar (ferry hacia Francia e Inglaterra), y aire (vuelos desde el Seve-Ballesteros hacia el interior peninsular y Europa).

Tabla 5-4: Número de comercios y lugares de interés en el sector terciario de Santander.

Fuente: ICANE

	Santander	Cantabria
Comercios mayoristas	570	1 688
Comercios minoristas	4 095	12 322
Lugares de ocio, gimnasios y centros culturales	340	937
Locales por millar de habitantes	13,1	12

5.2.2.2 Santa Cruz de Bezana

Prosiguiendo de norte a sur, es el siguiente municipio después de Santamder. Ocupa una superficie de 17,2 km²; en él habitan 12 964 personas. Dista 8 km de la capital, lo cual le ha permitido gozar de parte del éxito económico de la metrópoli. Su término municipal comprende los barrios de Azoños, Maoño, Mompía, Prezanes, Bezana capital, Sancibrián y Soto de la Marina.

Tabla 5-5: Medio físico de Santa Cruz de Bezana

Fuente: ICANE

Santa Cruz de Bezana	
Máxima cota	108 m
Mínima cota	0 m
Altitud media	8 msnm
Distancia a la capital (Madrid)	418 km/335 km
Coordenadas	43°26'39''N 3°54'11''O

• Historia

Su existencia se remota a épocas prehistóricas, en el Paleolítico, confirmándose en varios yacimientos el hecho de que esta localidad fue un lugar de asentamiento, basada en la caza y la pesca de subsistencia. Durante la Edad Antigua, el lugar fue un valle fértil sin apenas presencia humana.

Las primeras menciones modernas de este emplazamiento se ubican en 1025 (Cartulario de Santillana) y en el Libro de las Merindades de Castilla (1352). Hasta el siglo XVI, la zona fue un territorio propiedad de la Abadía de Santander.

Tras la constitución de Cádiz de 1812, Santa Cruz de Bezana empezó a desarrollarse como un pueblo con su propio gobierno local; en 1835 se constituyó el municipio, conformado por los barrios antes descritos. En el siglo XX y principios del s. XXI, ha sufrido una profunda ampliación y renovación urbanística, así como un crecimiento demográfico, debido al auge económico de la capital.

• Sector primario

Por la tendencia propiciada de la metrópoli, el sector agronómico y ganadero ha sufrido un descenso constante: desde 1990, la cantidad de cuerdas y corrales ha descendido notablemente, de 228 a 86 a principios del siglo XXI. Al igual que Santander, la industria y en mayor medida el sector servicios, han ido desplazando a la ganadería y agricultura como principales fuentes de ingreso.



Cuadro 5-5: Imagen fotogramétrica de Santa Cruz de Bezana.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Tabla 5-6: Sector primario en Santa Cruz de Bezana.

Fuente: ICANE

	Santa Cruz de Bezana	Cantabria
Superficie (km)	17,3	5 310
Superficie Agraria Útil (SAU) en km	6,7	2 763,9
SAU (%) respecto a la superficie municipal	38,6	52,1
Número de explotación	200	18 461
Titulares físicos	192	17 224
Unidades ganaderas	1 545	311 072

• Sector secundario

Propiciado por el sector de la construcción en gran medida, un 11,3% de la población activa de Santa Cruz de Bezana se dedica a tal ocupación. En el sector de la industria, esta proporción asciende al 14,2%. Dos polígonos industriales (Otero y Santa Cruz) han dado cobijo a 120 empresas desde el 2000.

Tabla 5-7: Número de empresas del sector secundario en Santa Cruz de Bezana.

Fuente: ICANE

	Santa Cruz de Bezana	Cantabria
Actividad industrial	51	2 897
Actividad de construcción	139	5 720

• Sector terciario

Proporciona la mayor ocupación de los habitantes del municipio, sobre todo en establecimientos hoteleros y comercios. La situación geográfica permite a la localidad ejercer un papel de *ciudad dormitorio*²⁰ por un lado, y de *hub*²¹ para acceder a otros lugares de Cantabria (Comillas, Liencres, Miengo, Santillana del Mar, Suances, etc.).

Tabla 5-8: Número de comercios y lugares de interés en el sector terciario de Santa Cruz de Bezana.

Fuente: ICANE

	Santa Cruz de Bezana	Cantabria
Comercios mayoristas	38	1 688
Comercios minoristas	99	12 322
Lugares de ocio, gimnasios y centros culturales	8	937
Locales por millar de habitantes	7	12

²⁰ También denominadas *ciudades satélite*, el concepto alude a aquellos núcleos de población en donde sus habitantes residen en tales lugares, pero dedican su actividad laboral en otra población, generalmente de mayor tamaño y con mayor actividad. Por lo general, la actividad económica de estas ciudades se centra en el sector servicios, para suplir las necesidades básicas de los habitantes, en forma de pequeños establecimientos comerciales.

²¹ Anglismo; *centro de conexión*: término empleado en aeronáutica, describe un punto de transferencia que permite unir dos puntos no directamente conectados mediante un punto intermedio (hub).

5.2.2.3 Piélagos

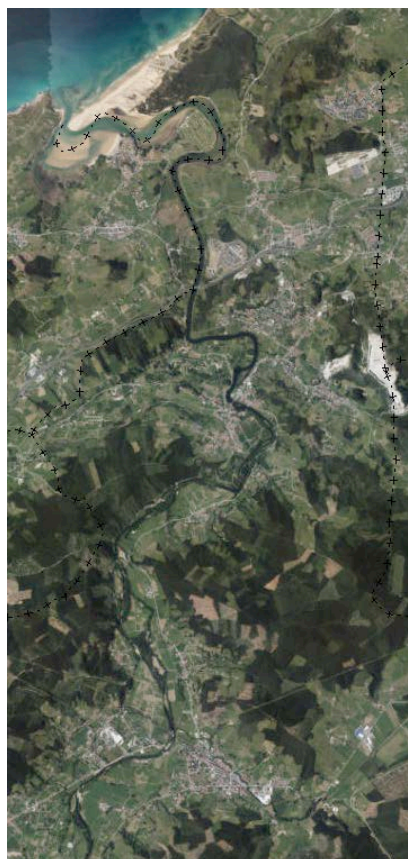
Municipio localizado en el valle homónimo, en las cercanías de la desembocadura del río Pas; su término comprende una superficie de 88 km², y doce localidades dan cobijo a 25 223 habitantes.

Se localiza a 21 km de la capital autonómica, cuenta con cierto tejido industrial de alto valor, y una densidad de población creciente en la zona septentrional (en Boo, Lieres y Mortera). También destaca por sus recursos naturales (Parque Natural de las Dunas, en Lieres, un espacio natural protegido de 195 ha, con el campo de dunas más relevante de toda la costa cántabra), y un rico patrimonio histórico y cultural.

Tabla 5-9: Medio físico de Piélagos

Fuente: ICANE

	Piélagos
Máxima cota	326 m
Mínima cota	0 m
Altitud media	37 msnm
Distancia a la capital (Madrid)	414 km/334 km
Coordenadas	43°21'28"N 3°57'29"O



Cuadro 5-6: Imagen fotogramétrica de Piélagos.

Fuente: IGN

• Historia

La localidad surge como un emplazamiento de las tribus cántabras, durante los siglos III a II a.C. Durante la ocupación romana, se convirtió en un enlace de comunicaciones, por los dos viales de la *Via Agrippa* que atravesaban el valle de Piélagos por la mitad.

Este carácter estratégico no se perdió; ya durante la Edad Media, el Camino de Santiago atravesaba por la parte norte del valle, a la altura de Boo de Piélagos, sirviendo de parada de descanso de los diferentes peregrinos que lo atravesaban.

A lo largo de todo el medievo, la zona era controlada por abades y nobles (Abadía de Santillana, la Casa de la Vega), hasta que en 1430, Piélagos decidió emanciparse y constituirse como un ente jurídico propio. Tras el Pleito de los Valles, en 1581 la localidad pasó a ser una provincia (de los Nueve Valles), hasta que en 1779 se integró en el resto de la región cántabra.

Durante la Edad Moderna, el comercio de indias marcó su hito en la historia del valle con sus construcciones, y con el estímulo del comercio con el Camino de Reinosa, siendo un flujo para el intercambio de productos como lanas, trigo o harinas. La ampliación del puerto de Santander en 1788, y la línea férrea con Alar del Rey en 1866 estimularon la economía,

enriqueciendo la región. En el siglo XX, la instalación de la Vidriera Mecánica del Norte y de otras fábricas terminó de dar un empujón a la economía y la población del lugar; a principios del siglo XXI es uno de los núcleos más activos de toda Cantabria.

- **Sector primario**

La ganadería de vacuno ha conformado el pilar básico de la economía del valle junto con cultivo forestal de especies, como el eucalipto. Desde 1960, la actividad ganadera-forestal se ha complementado con la actividad industrial, creando la figura del *obrero mixto*.

A finales del siglo XX, el sector agrícola y ganadero, cultivado por estos obreros, ha sido reemplazado por un cultivo realizado por grandes corporaciones.

Tabla 5-10: Sector primario en Piélagos

Fuente: ICANE

	Piélagos	Cantabria
Superficie (km)	88,6	5 310
Superficie Agraria Útil (SAU) en km	40	2 763,9
SAU (%) respecto a la superficie municipal	45,1	52,1
Número de explotación	578	18 461
Titulares físicos	535	17 224
Unidades ganaderas	8 892	311 072

- **Sector secundario**

Es uno de los sectores más relevantes en el municipio, concentrado en las factorías de Andía Lácteos y Cristalería Española (actual Saint-Gobain), y complementado con la actividad de pequeños talleres en Arce y Renedo. Este hecho hace que la industria represente un 33,4% del total de la ocupación del valle.

El 14,5% de esta porción queda representado por el sector de la construcción, logrado por la actividad de las localidades al norte del término municipal (Arce, Boo, Liencres y Mortera), próximos a la autopista A-67, entre Santander y Torrelavega.

El tejido industrial se desarrolló a principios del s. XX, de manos de Vidriera Mecánica del Norte en 1925, y la Sociedad Agraria Montañesa en 1932. La primera, actualmente en manos de la cristalería francesa Saint-Gobain, es un horno de vidrio, que da empleo a 130 personas.

La segunda, es una cooperativa lechera, la primera en España en comercial leche pasteurizada en papel parafinado, junto con leche en polvo, mantequillas y cacao. En 1979, queda constituida bajo el nombre de Lactaria Montañesa, y posteriormente, como Andía Lácteos. Esta empresa cobija a 100 empleados.

En sus alrededores, también cabe destacar la actividad de empresas como Metalúrgicas de Renedo, y Tecnología del Cemento y Mortero en Arce.

Tabla 5-11: Número de empresas del sector secundario en Piélagos

Fuente: ICANE

	Piélagos	Cantabria
Actividad industrial	66	2 897
Actividad de construcción	161	5 720

• Sector terciario

Representa un 62% de la ocupación total del municipio, experimentando un rápido ascenso en los últimos años. Localizados en Lienres y Renedo principalmente, la actividad de este sector se fundamenta en la hostelería, el comercio y el turismo.

Tabla 5-12: Número de comercios y lugares de interés en el sector terciario de Piélagos.

Fuente: ICANE

	Piélagos	Cantabria
Comercios mayoristas	32	1 688
Comercios minoristas	143	12 322
Lugares de ocio, gimnasios y centros culturales	11	937
Locales por millar de habitantes	6,4	12

5.2.2.4 Polanco

Entrando en la comarca del Besaya, este municipio alberga una población de 5 845 habitantes, en una superficie de 17,55 m². Se encuentra conectado por carretera a la autopista A-67, a 24 km de la capital de la comunidad, una línea férrea métrica atraviesa el municipio de principio a fin, y en la localidad de Requejada existe un puerto fluvial en el que se embarcan y recogen mercancías. Dentro de su superficie, Polanco queda integrada por ocho localidades: Barrio Obrero, Mar, Polanco, Posadillo, Requejada, Rinconeda, Rumoroso y Soña.

Al sur está limitado con Torrelavega, amplio centro social e industrial, al norte está rodeado por las localidades de Miengo y Suances, caracterizadas por su actividad turística, al este queda el municipio de Piélagos previamente descrito, y al oeste, Santillana del Mar, destacada por su patrimonio histórico y cultural.

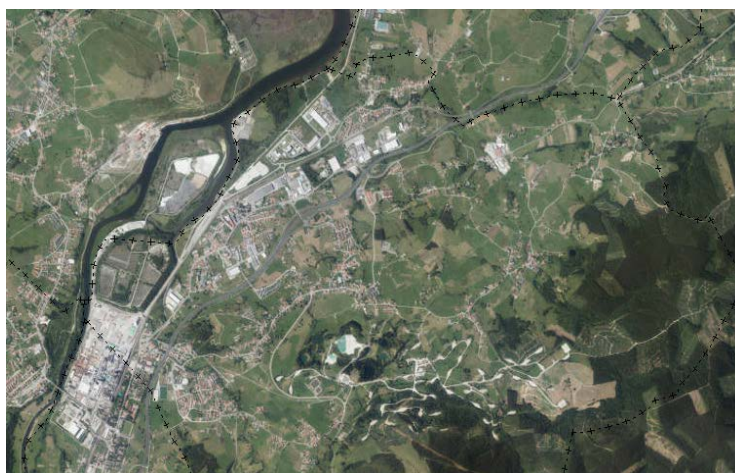
Tabla 5-13: Medio físico de Polanco

Fuente: ICANE

	Polanco
Máxima cota	215 m
Mínima cota	0 m
Altitud media	50 msnm
Distancia a la capital (Madrid)	431 km/329 km
Coordenadas	43°23'09''N 4°00'54''O

• Historia

Al igual que numerosas villas y pueblos de la comarca del Besaya, la historia de esta localidad se remonta a orígenes prehistóricos. Hasta la llegada de los romanos, los blendios ocupaban esta zona. Al igual que en Piélagos, la *Via Agrippa* pasaba a través de este municipio, enlazando con localidades tan lejanas como Flavióbriga (actual Castro Urdiales, al este de Cantabria y enlazando con Bilbao) y Portus Vereasueca (ahora San Vicente de la Barquera, en el extremo occidental de la comunidad). Desde la Edad Antigua, Polanco fue beneficiaria de la actividad comercial y minera de la extracción y embarque del mineral de sulfuro de zinc, extraído de Reocín.



Cuadro 5-7: Imagen fotogramétrica de Polanco.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

En la Edad Media, Polanco era un dominio de la Merindad de las Asturias de Santillana, dependiente de la Abadía del mismo lugar, desde el siglo XI hasta el XIV, que pasa a manos de la Casa de la Vega. Durante la Edad Moderna, en los siglos XVII y XVIII, Requejada experimentó un auge económico como puerto, recibiendo cargamentos de hierro, y embarcando mercancías como trigo de Castilla proveniente del Camino de Burgos.

En 1812, Polanco pasó a formar un municipio propio, junto con Miengo, Torrelavega y Viérnoles. La localidad terminó de formarse en el siglo XX, gracias al impulso que proporcionaba la instalación de una fábrica de carbonato sódico y cloratos de mano de la empresa Solvay.

• Sector primario

Debido al alto grado de industrialización del municipio, la ganadería y agricultura son actividades actualmente con un grado de representación muy bajo: a principios del siglo XX, en torno a diez ganaderos aún explotaban este sector, un 3,4% de la población total.

Tabla 5-14: Sector primario en Polanco

Fuente: ICANE

	Polanco	Cantabria
Superficie (km)	90	5 310
Superficie Agraria Útil (SAU) en km	7,9	2 763,9
SAU (%) respecto a la superficie municipal	8,7	52,1
Número de explotación	366	18 461
Titulares físicos	362	17 224
Unidades ganaderas	1 458	311 072

- **Sector secundario**

Desde el siglo XX, Polanco representa una zona industrial muy notable, donde sobresale la actividad de la empresa química Solvay, instalada en las localidades de Requejada y Barreda (ésta, dentro del término municipal de Torrelavega), que lleva desarrollando su actividad desde 1908.

En las cercanías, el polígono industrial del Requejada también resalta por su impacto en la economía local. Propiedad de SICAN, alberga 0,024 hectáreas de superficie, y está conectado con el puerto de Requejada, en el que, hasta 2008, buques de tamaño medio embarcaban y descargaban diferente tipo de mercancías.

El sector de la construcción también ha tenido un gran protagonismo en la zona, por la diversa presencia de empresas del sector, y su relación con la demanda de viviendas en las zonas de Torrelavega y Santander.

Tabla 5-15: Número de empresas del sector secundario en Polanco

Fuente: ICANE

	Polanco	Cantabria
Actividad industrial	49	2 897
Actividad de construcción	45	5 720

- **Sector terciario**

Aún no tan notable de forma directa como el sector industrial, supone la ocupación del 52% de la población de Polanco, gracias a una demanda de servicios de las localidades vecinas. La actividad comercial y la educativa sobresalen en este sector.

Tabla 5-16: Número de comercios y lugares de interés en el sector terciario de Polanco.

Fuente: ICANE

	Polanco	Cantabria
Comercios mayoristas	11	1 688
Comercios minoristas	46	12 322
Lugares de ocio, gimnasios y centros culturales	1	937
Locales por millar de habitantes	5,9	12

5.2.2.5 Torrelavega

A sólo 25 km de la capital, con una superficie de 35,54 km² y una población de 51 687 habitantes, se erige como la segunda ciudad más grande, en población y superficie, de la comunidad de Cantabria. Su actividad industrial y comercial es de gran reseña, siendo la vanguardia de la industrialización de la comarca del Besaya, desde la fundación de la ciudad en 1895. Su localización está a la altura de la de Santander, al ser cruce de caminos entre el eje norte-sur, favoreciendo las comunicaciones entre el valle de Buelna y las localidades de Polanco, Piélagos y el área de Santander, y entre el eje este-oeste, siendo un nudo entre las localidades orientales de Cantabria (Castro Urdiales, Santoña, Laredo) y occidentales (Cabezón de la Sal, San Vicente de la Barquera).

El término municipal de Torrelavega se reparte en la capital, Barreda, Campuzano, Duález, Ganzo, La Montaña, Sierrapando, Tanos, Torres y Viérnoles. Demográficamente, la mitad de los habitantes reside en Torrelavega metrópoli, mientras que el resto vive en las localidades periféricas. La heterogeneidad de la distribución demográfica permite que diferentes dimensiones en la economía de la ciudad: la capital es puntera en el sector servicios, mientras que las localidades a su alrededor aún mantienen como principal motor comercial las actividades agropecuarias, mineras e industriales.

Tabla 5-17: Medio físico de Torrelavega

Fuente: ICANE

	Torrelavega
Máxima cota	606 m
Mínima cota	12 m
Altitud media	25 msnm
Distancia a la capital (Madrid)	426 km/325 km
Coordenadas	43°21'11''N 4°02'45''O

• Historia

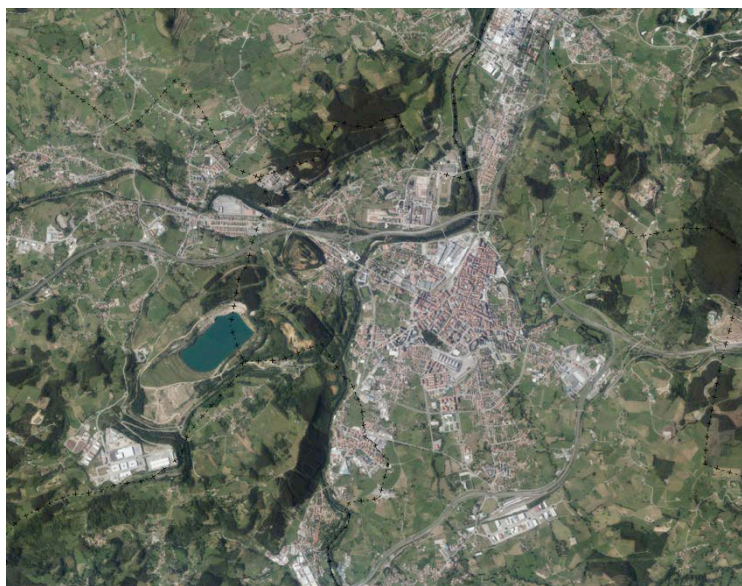
El municipio se remonta a épocas prehistóricas, donde yacimientos arqueológicos en las zonas de Tanos, Viérnoles y Quijas han confirmado la presencia de humanos en el Paleolítico Inferior. En la época de ocupación romana, hay datos que corroboran su paso desde el 161 d. C.

No obstante, la villa de Torrelavega empieza a definirse como un ente propio a partir de la Edad Media. En el siglo XII, la zona se conocía como la Aldea de la Vega propiedad de la familia de Garcilaso de la Vega.

Garcilaso I, Adelantado de Castilla, fundó este territorio, construyendo una torre sobre la cual creció el núcleo urbano; esta torre fue la que dio el topónimo a Torrelavega.

Tras el Pleito de los Valles, en 1753 la administración y economía de la villa se transformó, con el inicio de la actividad industrial, el comercio colonial y la inauguración de nuevas vías de transporte y comunicación. Junto con el puerto de Santander, Torrelavega se convirtió en un nuevo enlace entre Castilla y el exterior.

En el siglo XVIII, la carretera Santander-Asturias (base de la carretera nacional N-634 y posterior autovía A-68) se construyó, cruzando en mitad de la villa, lo que favoreció el comercio, sobre todo el ganadero. A raíz de este hecho, se instauró el Mercado Nacional



Cuadro 5-8: Imagen fotogramétrica del área de Torrelavega.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional

de Ganados, uno de los mayores mercados ganaderos de toda España. El siglo XIX fue aún más propicio para la economía local, con el paso del ferrocarril Santander-Alar del Rey en 1858, y del ferrocarril métrico del Cantábrico, enlazando con Oviedo.

La industrialización de la mano de las harineras, telares y demás fábricas establecidas en torno a aquél cruce de caminos alcanzó su auge en este siglo. Fue en 1856 cuando el mayor empuje a este tejido industrial se provocó, con el descubrimiento de la mina de zinc en la localidad de Reocín, sumado a la posterior instalación del conjunto de Solvay en Barreda.

A finales del siglo XX, la construcción de las dos autovías, precisamente establecidas siguiendo el cruce de caminos definidos por los dos ejes, norte-sur y este-oeste, propiciaron un desarrollo social, económico y demográfico que continúa en la actualidad.

En el siglo XXI, no obstante, este desarrollo se frenó con el cierre en 2003 de la mina de Reocín debido a los bajos precios del zinc, y con la recesión económica de 2008. Aún con eso, a finales de la primera década de este siglo, un número considerable de proyectos de índole industrial, minera y de infraestructuras están en fase de acometerse; entre ellas figura la reapertura de la mina de zinc por parte de empresas australianas y canadienses.

• Sector primario

Si bien la tendencia de la región a industrializarse y a dedicarse al sector servicios ha provocado una caída general en la proporción de habitantes dedicados a la actividad agrícola, Torrelavega se mantiene como un núcleo ganadero de alta actividad desde 1884. Una muestra material de la hegemonía de este subsector se halla en el Mercado Nacional de Ganados, un recinto de 150 000 m², inaugurado en 1973 que da cabida a ferias semanales de ganado, y también cumple una función como centro cultural.

Dentro de este sector también puede resaltarse de manera notable la extracción de minerales. Limítrofe en la comarca del Besaya con la del Saja-Nansa, en la localidad de Reocín se encuentra un yacimiento de zinc, que comprende asimismo los municipios de Alfoz de Lloredo, Cabezón de la Sal, Santillana del Mar, Suances y Udías (véase para más detalle el apartado previo: 5.1 – Situación geológica). Hasta principios del s. XXI, la actividad minera ha sido uno de los principales motores de Torrelavega y su entorno más cercano.

Tabla 5-18: Sector primario en Torrelavega

Fuente: ICANE

	Torrelavega	Cantabria
Superficie (km)	35,5	5 310
Superficie Agraria Útil (SAU) en km	18,9	2 763,9
SAU (%) respecto a la superficie municipal	53,3	52,1
Número de explotación	331	18 461
Titulares físicos	310	17 224
Unidades ganaderas	5 821	311 072

• Sector secundario

La industria en Torrelavega se expande durante el siglo XVIII, con el desarrollo de harineras y telares. A finales del siglo XIX, grandes corporaciones (AZSA, Sniace, Solvay) desembarcan en el municipio, y aprovechando el beneficio que dejan, otras surgen en el lugar (Granjas Poch, La Lechera Montañesa, Talleres Obregón).

La industria química Solvay estableció su complejo de sosa y carbonato sódico en la localidad de Barreda, colindando con Requejada. Desde 1908, lleva funcionando sin interrupción. A partir de su llegada, empresas como Braso S.A., Continental Fábrica Española de Caucho (actual Firestone), Industrial Jabonera Villalobos, y la Sniace, establecieron sus instalaciones alrededor del complejo químico.

No obstante, desde los años noventa el sector industrial ha sufrido un duro golpe, agravado por el cierre de la mina de zinc en 2003. Tras la recesión económica del 2008, se aprecia una pequeña recuperación, que ha permitido una estabilidad algo precaria, si bien el aumento y mejora de las comunicaciones, y los diferentes proyectos en la comarca, ofrecen esperanzas de un auge en la economía local. A principios de la primera década del siglo XXI, un 22% de la población se dedica a la industria, y un 15,5% hace lo propio en el sector de la construcción.

Tabla 5-19: Número de empresas del sector secundario en Torrelavega

Fuente: ICANE

	Torrelavega	Cantabria
Actividad industrial	235	2 897
Actividad de construcción	369	5 720

• Sector terciario

Debido a su emplazamiento estratégico, Torrelavega cuenta con una larga historia dentro del sector comercial y de servicios, desde 1799. No obstante, fue en el siglo XX y XXI cuando, el refuerzo de las comunicaciones por carretera y ferrocarril han hecho que la ciudad se convierta en nudo de transportes y un punto de enlace para turistas, que articula los ejes norte-sur y este-oeste, mediante un servicio férreo de pasajeros constante hacia ambas direcciones, así como un servicio de autocares igualmente desarrollado, sumado a la situación característica de las autovías que atraviesan el municipio.

Este sector ocupa a un 61% de la población, entre centros comerciales, cafés, obradores, tiendas, y complejos dedicados a la salud.

Tabla 5-20: Número de comercios y lugares de interés en el sector terciario de Torrelavega.

Fuente: ICANE

	Polanco	Cantabria
Comercios mayoristas	154	1 688
Comercios minoristas	1 668	12 322
Lugares de ocio, gimnasios y centros culturales	126	937
Locales por millar de habitantes	14,8	12

5.2.3 Infraestructuras

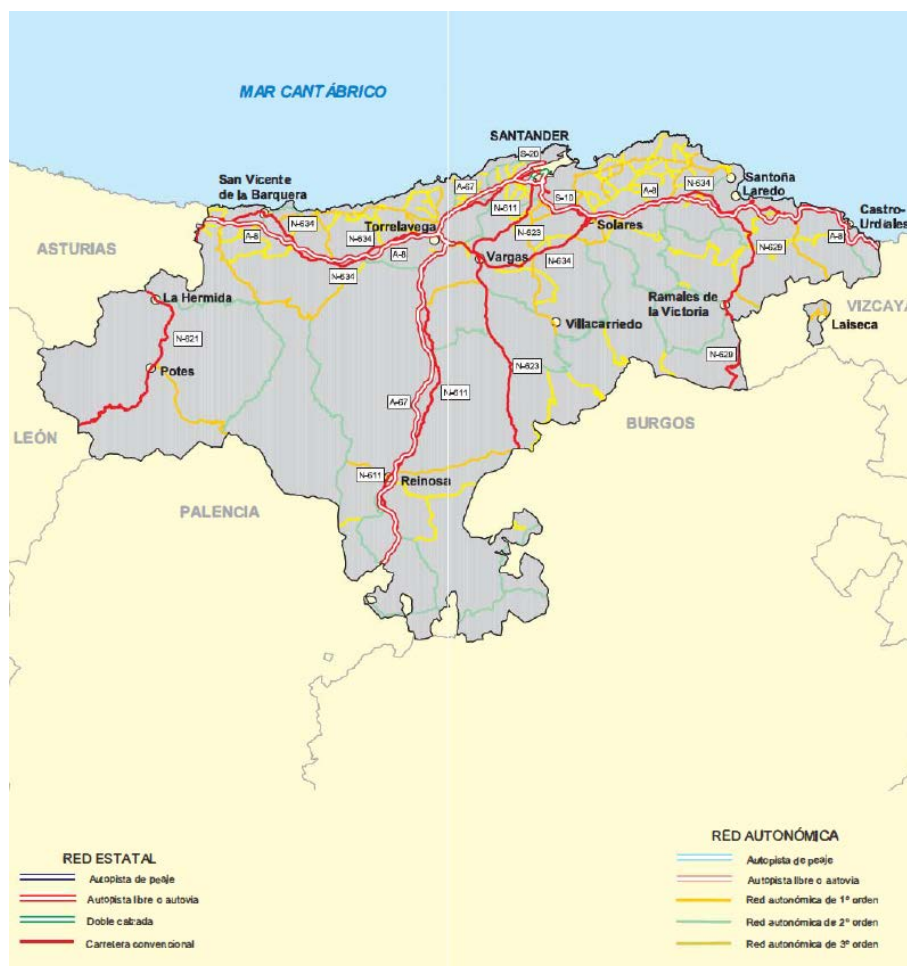
La comunidad de Cantabria se caracteriza por un paisaje montañoso, determinado por la Cordillera Cantábrica y los diferentes valles que se despliegan a sus faldas, así como la poca distancia relativa entre la montaña y la costa. Este hecho ha provocado una insuficiencia en las comunicaciones con respecto a sus comunidades vecinas.

Aún con el alto coste por kilómetro que supone construir nuevas infraestructuras, existen proyectos, algunos ya en fase de materialización, destinados a revertir esta tendencia dentro de la región.

5.2.3.1 Transporte por carretera

La construcción de vías terrestres en la región se remonta a la época romana, destacando la *Vía Agrippa* y la Calzada Romana del Besaya, formando dos ejes que atraviesan Cantabria perpendicularmente. Siglos posteriores, al construirse el primer sistema de carreteras y autopistas radiales, el trazado de éstas discurría de forma paralela o solapada con las mismas calzadas romanas.

De este modo, pueden señalarse en la zona de estudio las siguientes infraestructuras viales:



Cuadro 5-9: Red de Carreteras en la Comunidad de Cantabria.

Fuente: Ministerio de Fomento

• **N-611**

Es una carretera nacional²², construida en los años treinta entre las ciudades de Palencia y Santander, discurriendo por las localidades de Frómista, Osorno, Herrera de Pisuegra, Aguilar de Campoo, Reinosa, Bárcena de Pie de Concha, Los Corrales de Buelna y Torrelavega.

La vía, debido a su condición de carretera de primer orden, pertenece a la Red de Carreteras del Estado, siendo titularidad del Ministerio de Fomento.

Tras numerosas reformas, acometidas entre 1988 y 1991, así como durante el 2000 al 2009, la carretera posee una longitud de 207 kilómetros, de los cuales 78,25 km discurren por Cantabria.

Tabla 5-21: Datos rápidos de la N-611

Fuente: Ministerio de Fomento

N-611	
Nombre	Carretera Nacional N-611
Tipo de vía	Carretera de primer orden
Longitud	207 km
Máxima cota	987 msnm (Pozazal)
Mínima cota	8 msnm (Valdecilla)
Origen (km 0)	Palencia
Fin	Valdecilla (Santander)
Titular	Ministerio de Fomento
Conexiones	A-67, A-62, N-120, N-627, N-634,
Velocidad genérica	

Si bien su velocidad genérica es de 90 km/h²³, entre las localidades objeto de estudio, la velocidad máxima concuerda con la genérica sólo en un pequeño trazado recto entre Mar (Polanco) y Oruña (Piélagos), estando en el resto limitada a ochenta, sesenta o cuarenta kilómetros por hora.

El firme de la calzada presenta, en la mayor parte de su recorrido, desgaste e irregularidades debido a los factores climáticos en gran medida, y en el cada vez menor tráfico en segundo lugar. En las localidades más pudientes, parte del trazado ha sido reacondicionado, y es típico encontrarse con obras en el trayecto entre Santander y Torrelavega.

• **A-67**

Es una autovía²⁴ de doble calzada y doble sentido, paralela en la mayoría de su trayecto a la N-611, que comunica las localidades de Palencia y Santander. Posee una longitud de 205,4 kilómetros, en las cuales atraviesa las mismas ciudades que la carretera nacional que la antecede.

Proyectada en 1984, su construcción se desarrolló por tramos: hasta 1998, se construyó el primero: 23 kilómetros entre Santander y Torrelavega. Seis años más tarde, desde 2004 hasta 2009, se construyeron los 182 kilómetros restantes, entre los tramos Torrelavega-Los Corrales de Buelna, Los Corrales-Reinosa, Reinosa-Mataporquera,

²² Carretera de titularidad estatal, que se caracteriza por una sola calzada de doble sentido y estructura radial. Se identifican con un código de tres cifras: la primera, indica a qué Sector Radial pertenece; la segunda, el centenar de kilómetros entre el inicio y Madrid, y la tercera cifra, su transversalidad (si impar, es concéntrica a Madrid, si par, es tangente a la dirección con la capital).

²³ De acuerdo al Real Decreto 1514/2018, del 28 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento General de Circulación, aprobado por el Real Decreto 1428/2003, del 21 de noviembre.

²⁴ Según el Reglamento de Circulación es aquella carretera especialmente proyectada, construida y señalizada como tal, con acceso limitado a las propiedades colindantes a la autovía, no cruza a mismo nivel otra senda, vía de ferrocarril o tranvía, u otra vía de comunicación, y que consta de distintas calzadas para cada sentido de la circulación, separadas entre sí salvo en zonas puntuales, por una franja de terreno no destinada a la circulación -mediana-.

Mataporquera-Frómista, y Frómista-Palencia. Debido a la complejidad técnica por la orografía, los costes de la autovía ascendieron en algunos casos a 1,27 MEUR/km, como se conoce en los subtramos Los Corrales-Molledo y Molledo-Pesquera. En este último reside el viaducto más alto de España, el Viaducto de Montabliz, salvando un desnivel de 198 m de alto, en una clotoide de 721 m de longitud.

El fin de la autovía era aliviar el tráfico que recibía la N-611, debido que, hasta la inauguración de la nueva carretera, la nacional era la única vía de comunicaciones entre Santander y Madrid, acogiendo en su calzada el paso de numerosos camiones cargados con mercancías del puerto de Santander, y el masivo flujo de turismos desde la Meseta hasta la costa, sobre todo el tiempos estivales.

La velocidad genérica de la autovía es de 120 kilómetros por hora; notar que, dentro de la zona de estudio, en dirección Santander, la velocidad máxima se reduce a 100 km/h debido a la sinuosidad del trazado, y al control del tráfico. En este sentido, la circulación de la vía se hace poco fluida a primeras horas de la mañana, y a últimas de la tarde, por el inicio y fin de las jornadas laborales, lo que presenta en muchas ocasiones retenciones y accidentes.

La alta cantidad de atascos, sobre todo en el nudo de Torrelavega (donde, debido al diseño de la vía, se entrelaza con el trazado de la A-8), ha obligado al Ministerio de Fomento a realizar ciertas obras de ampliación de la calzada, instaurando un tercer carril en la altura de Bezana y Torrelavega, y está en fase de proyecto el tender una vía directa entre Polanco y Sierrapando para aliviar la congestión de tráfico existente en la zona.

El gálibo mínimo vertical establecido en el tramo Santander-Torrelavega es de 5,30 m; no obstante, hay estructuras en el trazado que incumplen esta norma:

- En el paso de la A-67 bajo el puente de arco sobre la que se apoya la A-8, en Torrelavega (PK 182+900, 43°21'32.6"N 4°02'41.1"W), la altura mínima es de **5,10 m**, medido desde el arcén derecho de la calzada dirección Torrelavega-Salida A-8 Bilbao-Palencia.
- A la altura de la salida 193 (PK 193+100, 43°25'08.0"N 3°57'34.0"W), existe un paso superior de 28 m de luz, 10 m de ancho, de tablero de losa aligerada isostática. La altura de este paso es menor a los 5,30 m mínimos (su gálibo es de **4,90 m**) por lo que en su lugar se demolerá la estructura²⁵, tendiendo un puente de arco doble, dejando un gálibo mínimo de 5,17 m medidos desde el arcén derecho de la calzada, dirección Torrelavega.

Tabla 5-22: Datos rápidos de la A-67

Fuente: Ministerio de Fomento

A-67	
Nombre	Autovía Cantabria-Meseta
Tipo de vía	Autovía
Longitud	205,4 km
Máxima cota	1 013 msnm (Pozazal)
Mínima cota	1 msnm (Santander)
Origen (km 0)	Palencia
Fin	Santander
Titular	Ministerio de Fomento
Conexiones	A-67, A-62, N-120, N-627, N-634,
Velocidad genérica	

²⁵ De acuerdo al Proyecto de Trazado. Autovía A-67. Ampliación de capacidad. Tramo Polanco-Santander

- Cerca del término de la autovía, a la altura de Santa Cruz de Bezana (PK 198+100, 43°26'16.3"N 3°54'16.8"W), existe un paso superior cuyo gálibo mínimo es de **4,80 m**. Por la misma razón que el anterior paso, será demolido para construir un puente de cajón mixto, canto variable y tres vanos. En principio, la estructura cumplirá con el requisito de altura mínima.

5.2.3.2 Transporte por ferrocarril

Del mismo modo que la orografía impide un pleno desarrollo de las infraestructuras por carretera, el mismo problema se aplica a la construcción de vías férreas. El gran desnivel y la poca distancia existente entre la costa y la cordillera Cantábrica ha provocado un sistema ferroviario dividido en dos ejes, y con dos anchos diferentes:

- **Línea férrea Palencia-Santander**

Perteneciente al Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (Adif), esta línea forma parte de los 14 059 kilómetros de la Red Ferroviaria de Interés General. Identificada formalmente como Línea 160, comunica los núcleos urbanos de Palencia y Santander.

Es una línea de ancho ibérico, vía única, de 217 kilómetros de longitud, y electrificado a 3 kV CC. Su configuración viaria (seguridad BLAU²⁶-CTC²⁷, ASFA²⁸ y tren-tierra²⁹) limitan la velocidad máxima del trazado a 155 km/h (entre Bárcena de Pie de Concha y Santander), aunque es aún menor entre Palencia y Reinosa, con 120 km/h, llegando a los 90 km/h en el trazado Reinosa-Bárcena de Pie de Concha.

Su construcción se remonta a 1845, con el propósito de unir Santander con Alar del Rey, cabeza del Canal de Castilla, con fines comerciales (tráfico de harinas, trigo y vino principalmente). Tras infructuosos intentos de mano de George Stephenson, o Juan Rafo Tolosa, la Compañía del Ferrocarril de Isabel II decidió embarcarse en la construcción de la línea.



Cuadro 5-10: Recorrido de la línea férrea Palencia-Santander.

Fuente: Wikimedia Commons

²⁶ Bloqueo Automático en vía Única.

²⁷ Control de Tráfico Centralizado.

²⁸ Anuncio de Señales y Frenado Automático: es un método basado en balizas que, mediante señales de radio, identifica si un tren rebasa o no una señal indebidamente, deteniendo el tren si fuera necesario.

²⁹ Sistema tren-tierra: método analógico radiotelefónico que permite comunicar al maquinista con el CTC.

De este modo, en 1857 se inauguró el primer tramo entre Alar del Rey y Reinosa. El resto de la línea fue construida de forma simultánea, con los tramos entre Alar del Rey y Venta de Baños, Reinosa-Bárcena, y Bárcena-Santander. El penúltimo de ellos fue el más tardío en su construcción, inaugurándose la línea el 8 de julio de 1866.

Posteriormente, en 1941, la compañía titular de la línea (la Compañía del Norte) es disuelta, junto con otras varias, y unificada bajo la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE). Bajo el paraguas de esta empresa se electrificó el trazado en 1951, y se reacondicionó para aumentar las velocidades máximas de la línea.

Apenas hubo cambios mayores hasta 2014, cuando ya en manos de Adif, la catenaria fue compensada, modernizada, y en 2018 fue aprobado un plan de reacondicionamiento de la cama de balasto, para acomodar una doble vía entre Santander y Torrelavega.

El tráfico rodante que circula por la línea queda comprendido por servicios de cercanías entre Santander y Reinosa (Cercanías Santander C-1), de media distancia entre Santander y Palencia (Regional nº20 Valladolid-Santander), y de alta velocidad entre Santander y Madrid (prestado por tres trenes Alvia por sentido).

Asimismo, numerosos convoyes de mercancías atraviesan el trazado, entre el nudo ferroviario de Venta de Baños y el puerto de Santander. La mercancía trasladada predominantemente son automóviles producidos en las fábricas de Palencia y Valladolid para exportación, en formaciones que superan los quinientos metros en determinadas ocasiones.

- **Línea férrea Santander-Oviedo**



Cuadro 5-11: Red ferroviaria de ancho métrico en Cantabria.

Fuente: Ministerio de Fomento

La vía férrea data su construcción a finales del siglo XIX, de manos de la Compañía del Ferrocarril del Cantábrico. A día de hoy, la empresa titular del servicio corre a cargo de Renfe Operadora, la misma que lleva los servicios de vía ancha.

El uso de la línea, de vía única en sus orígenes, se centró en el transporte de viajeros y ganado entre Cabezón de la Sal, Torrelavega y Santander.

El uso de la línea se acrecentó a mediados del siglo XX, por lo que en 1950, la vía pasó a ser doble en los 27 kilómetros entre Santander y Torrelavega, incrementándose el tráfico de pasajeros y mercancías, así como el número de apeaderos entre esos puntos.

En 1984, el trazado se electrificó a 1500 V CC, con unas velocidades comerciales de 42 km/h. Actualmente el servicio cuenta, desde octubre de 2018, con 100 trenes entre Santander y Torrelavega, más una serie de convoyes diarios de carbón entre Oviedo, Santander y La Robla (León).

5.2.3.3 Transporte marítimo

La comunidad, aparte de estar comunicada por tierra a la Meseta, también posee una red de comunicación con el exterior por mar, que se remonta a tiempos de la Edad Antigua, y que ha sufrido grandes extensiones hasta el día de hoy. Actualmente, la actividad comercial-marítima se concentra en dos núcleos de gran operación y dimensiones: el Puerto de Santander, y el puerto fluvial de Requejada.

- **Puerto de Santander**

Gestionado por la Autoridad Portuaria de Santander (Puertos del Estado), es el mayor muelle de mercancías y pasajeros dentro de la comunidad, moviendo en sólo un mes una media de 545 000 toneladas métricas. Se ubica dentro de la Bahía de Santander.

El origen del puerto data desde 2000 años atrás, desde que en el 19 a.C., los romanos fundasen el *Portus Victoriae Iuliobrigensium* como vía de exportación de minerales.

Durante la Edad Media, el Puerto se constituyó como eje primordial de las relaciones marítimo-económicas de Castilla. Desde 1735, el Real Decreto de Libre Comercio permitió a Santander comerciar de forma libre con el resto de colonias.

En 1785, se creó el Consulado de Santander, con lo que durante todo el siglo XIX el Puerto se constituyó como una ciudad portuaria clave en el comercio colonial.

Tabla 5-23: Datos rápidos del Puerto de Santander.

Fuente: Puertos del Estado

Puerto de Santander	
Ubicación	43°27'N 3° 48'O
Viento reinante	O y NO
Viento dominante	NO y SSO
Altura de ola máxima	7,4 m
Máxima carrera de marea	5,4310 m
Cota de la PMVE³⁰	5,4640 m
Orientación de la entrada	E – O
Anchura de canal	150 m
Calado en BMVE³¹	11,50 m
Fondo	Arena en la margen S
	Caliza en el N
Boca de entrada	Al E de Isla de Mouro
Anchura de boca	1 700 m
Calado en BMVE	18 m
Máxima corriente	0,29 kn (0,54 km/h)

Debido en 1895 a la explosión del buque *Cabo Machichaco*, la Autoridad Portuaria decidió concentrar sus esfuerzos en crear el complejo portuario de Raos; éste no se materializó hasta 1985, cuando los tres primeros muelles se construyeron. En 1989, la terminal de ferries y el Espigón Norte terminaron sus obras, dando inicio al tráfico de automóviles.

Hacia 1992, se dragó el canal de navegación, aumentando el calado, y en 1997, el muelle Raos 4 terminó su construcción. Ya en el siglo XXI, en el 2007 se abre una estación de graneles sólidos, que impide la volatilización de material en granel hacia los barrios aledaños.

Se prevé en un futuro ampliar la superficie portuaria con un área logística en Piélagos (PSIR Piélagos), descongestionando el volumen de tráfico entrante y saliente.

³⁰ Pleamar Máxima Viva Equinoccial: es la marea teórica más alta, cuando se suman todas las condiciones astronómicas bajo condiciones meteorológicas medias. La cota de la PMVE con respecto al cero del puerto es la diferencia entre la PMVE y la cota cero de puerto. El valor ha de ser mayor o igual a cero.

³¹ Bajamar Máxima Viva Equinoccial: es la marea teórica mas baja, al sumarse todas las condiciones astronómicas bajo condiciones meteorológicas medias. El calado de la BMVE se define como la resta entre la BMVE y la cota cero del puerto.

La actividad que registra el puerto se centra en gran manera en dos servicios: por un lado, el sector de pasajeros, siendo muelle de numerosos buques transbordador RO-PAX. Comandados por la naviera francesa *Britanny Ferries*, se ofrecen servicios entre Santander y Bilbao, comunicándolos con los puertos de Bretaña, Francia, y el sur de Inglaterra (Portsmouth, Plymouth), así como con el puerto de Cork, en Irlanda. Es común ver varios barcos semanales de la compañía atracar en el muelle de pasajeros de Santander.

Por otro lado, el tráfico de mercancías es muy notable, siendo las principales materias exportadas automóviles, mercancía Ro-Ro, productos forestales, carbonato sódico, y cemento a granel.

Tabla 5-24: Servicios marítimos ofrecidos por el Puerto de Santander.

Fuente: Puertos del Estado

Naviera	Consignatario	Puertos de destino	Escalas anuales	Tráfico
Britanny Ferries	Modesto Piñeiro CYA, SL	Plymouth, Portsmouth, Cork	250	Pasajeros, turismo, camiones con carga
UECC	Combalia Agencia Marítima, SA	Rotterdam, Zeebrugge, Southampton	100	Vehículos turismo y pesados
Volkswagen Konzernlogistik GMBH & Co, OHG	Bergé Marítima, SL	Setubal, Emden y Dublin	70	Automóviles y mercancía Ro-Ro
Euro Marine Logistics NV	Bergé Marítima, SL	Zeebrugge, Amsterdam, Le Havre, Barcelona, Southampton, Sheerness, Grimsby, Tyne, White Hill Point	120	Automóviles y mercancía Ro-Ro
Höegh Autoliners	Marítima Dávila Madrid, SA	<i>Hacia África, Oceanía, EEUU, México</i>	36	Vehículos turismo y pesados
Wallenius Wilhelmsen Log.	A. Pérez y Cía, SL	<i>Hacia Oceanía y América</i>	40	Mercancía Ro-Ro
UPM Kymmene Seaways OY, LTD	Cantabriasil, SA	Kotka, Rauma, El Ferrol, Amsterdam y Rostock	52	Productos forestales, derivados del papel
Flota Suardiaz	Vapores Suardiaz Norte, SL	Zeebrugge, Montoir Saint Nazaire, Tánger, Setubal	N/D	Vehículos
G2 Ocean	Bergé Marítima, SL	Bilbao, Brake, Recife, Sao Sebastiao, Imbituba, Santos, Campana	18	Carbonato sódico, sulfato sódico
CLdN	Vapores Suardiaz Norte, SL	Zeebrugge	104	Mercancía Ro-Ro
Hyundai Glovis Co., Ltd.	Bergé Marítima, SL	<i>Hacia Europa, Oceanía y América</i>	18	Automóviles, mercancía Ro-Ro
Neptune Line Shipping and Managing Enterprises, SA	Marítima del Mediterráneo, SAU	Portbury, Le Havre, Rosslare y Southampton	48	Vehículos turismo y pesados, mercancía varia
Wijnne & Barrends Cargadoors – EN Agentuurkantoren BV	Modesto Piñeiro, CYA SL	Sharpness, Portland	25	Cemento a granel
Baltrader SmbH & Co, KG	Modesto Piñeiro, CYA SL	Plymouth, Righam, Immingham	30	Cemento a granel
Strand Shipping AS	Bergé Marítima, SL	Sharpness, Portland, Plymouth	52	Cemento



Cuadro 5-12: Imagen aérea del puerto de Santander.

Apreciar al fondo los muelles de descarga de mercancías de Raos. En la parte inferior, a la derecha, el muelle de pasajeros, con un ferry atracado.

Fuente: Autoridad Portuaria de Santander

Aparte de las instalaciones de los muelles de Raos, el Puerto de Santander cuenta con una serie de puertos secos³², que optimizan la distribución de mercancías dentro de la Península.

Por un lado, está el puerto seco de Santander-Ebro, en la localidad de Luceni, en Zaragoza. A una distancia de 400 km del Puerto, posee una superficie útil cercana a los 105 000 m² y con conexión ferroviaria.

Da servicio al 60% del mercado nacional del Puerto, enlazando con los puertos del Mediterráneo y el tráfico de la frontera francesa.

Por otro lado, el puerto seco de Azuqueca de Henares, en Guadalajara, situado a 400 km de Santander, y con una superficie útil de 47 700 m², sirve de punto de transferencia de mercancías para abastecer a otros mercados vía ferrocarril. Es una terminal ferroviaria intermodal, cuyo campo de acción radica en la actividad comercial de la Meseta, el área metropolitana de Madrid, y los mercados extranjeros del sur de Europa y el norte de África.

• Puerto fluvial de Requejada

Es un puerto de carácter fluvial, localizado en el río Saja, a unos 5,5 kilómetros de su lugar de desembocadura. Su historia se remonta a los siglos XVII y XVIII, como lugar de embarque de trigo y harinas, y de recepción de mineral de hierro. En el siglo XIX y XX, AZSA impulsó la actividad del puerto para la exportación del zinc hacia los mercados internacionales.

Siendo el único puerto de titularidad privada en toda España, el puerto de Requejada experimentó su momento culmen en los noventa, y llegando a transferir 41 millones de toneladas métricas a principios del siglo XXI. No obstante, en 2008 el puerto fue cerrado por a la falta de dragado del canal entre el muelle con la desembocadura. Por un litigio legal, la titularidad del puerto no ha pasado a propiedad pública, y su estado actual es de abandono. Numerosas empresas de la región han declinado revivir el puerto en pro de comprar espacios en del creciente Puerto de Santander.

³² Un puerto seco, según la UNCTAD, es “una instalación interior de uso común con carácter de autoridad pública, provista de instalaciones fijas que ofrecen servicios para el manejo y almacenamiento temporal de cualquier medio de transporte”.

Así, puede definirse como una terminal intermodal en tierra adentro, conectada a un puerto por carretera o tren, que permite agilizar el control de aduanas al movilizar la mercancía fuera del entorno portuario. Permite acelerar el movimiento de mercancías entre buques, y genera una distribución de éstas de forma centralizada.

5.2.3.4 Transporte aéreo

En Cantabria el transporte por avión sólo se realiza en un único lugar, el Aeropuerto de Seve Ballesteros-Santander, si bien en otras épocas (durante la primera mitad del siglo XX), hubo otros aeropuertos como el aeródromo de La Albericia.

- **Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander**

El aeropuerto, popularmente conocido como el Aeropuerto de Parayas debido a su localización (dentro del municipio de Camargo), posee la única pista de aterrizaje de toda la región. Inaugurado en 1953, destaca por su mayoritaria actividad de pasajeros.

La actividad aeronáutica se remonta a 1910, cuando Santander albergó su primer festival aéreo en La Albericia. Para 1912, se instalaron un par de hangares, se apisonó el campo de vuelo, y en 1913 se creó el Aeroclub Santanderino. En 1921, Santander, Bilbao y Bayona estuvieron unidas por trayectos aéreos de la mano de la Red de Hidroaviones del Cantábrico de la Cía Franco-bilbaína de Ttes. Aeronáuticos. Hasta 1945, la pista recibió los vuelos nacionales e internacionales de la compañía Iberia.

Fue en 1953 cuando se cerró de forma definitiva esta pista, a la par que fue inaugurado el aeropuerto de Parayas, con una pista de 1150 m de largo y 70 m de ancho, una terminal y una escueta torre de control. Para 1959, unos diques fueron reforzados debido a la constante entrada de agua por la actividad mareal.

El Aeropuerto de Parayas fue profundamente remodelado en 1973, con la ampliación de la longitud de la pista a 2400 m, la construcción de una nueva terminal y hangares, así como la instalación de radiobalizas y la edificación de un helipuerto. Estas obras se efectuaron hasta 1977. Ya en el siglo XXI, la terminal se rebautiza a Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander, en honor al deportista cántabro.



Cuadro 5-13: Foto satelital del Aeropuerto de Parayas.

Fuente: TomTom

Tabla 5-25: Datos rápidos del Aeropuerto de Parayas

Fuente: Aena

Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander	
Identificador (IATA/OACI)	SDR/LEXJ
Coordenadas	43°25'37"N 3°49'12"O
Ubicación	Camargo
Elevación	5 msnm
Operador	AENA
Tráfico	1 103 353 pasajeros 11 258 operaciones 0 Tm carga
Pista	11/29; 2 420 m × 45 m, asfalto

La terminal, si bien no realiza servicios de carga, sí está preparada para recibir volúmenes relativamente grandes de pasajeros, con una capacidad de 1,5 millones de pasajeros, los cuales más de una cuarta parte de éstos corresponden al sector de negocios. Recibe un 29% de vuelos de otros países, entre los cuales destacan los destinos de Italia, Alemania o Reino Unido.

El resto de conexiones a otros continentes se asegura por una serie de vuelos lanzadera entre Santander y el aeropuerto de Madrid Barajas-Adolfo Suárez, representando el 23% de los destinos nacionales. El acceso al aeropuerto está bien comunicado, por la autovía de acceso S-10, la carretera N-636, así como una serie de líneas de autobuses directos hacia la capital.

5.2.3.5 Red eléctrica

La infraestructura eléctrica en Cantabria se define por un consumo eléctrico muy alto con respecto a su poder de generación; esta situación convierte a la región en netamente importadora de energía eléctrica (y de otros tipos de energía, en general).

- **Consumo de electricidad**

Propiciado por el aumento de la población y la creciente tendencia económica, el consumo de energía eléctrica ha crecido de forma lineal desde mediados del siglo XX hasta la primera década del siglo XXI. Ha de notarse que la demanda eléctrica total de la comunidad excede el crecimiento del PIB de la región, con lo que se ha de consumir más energía que la media para lograr el mismo valor añadido.

Tabla 5-26: Consumo energético eléctrico con respecto a España y Cantabria en 2011.

Fuente: ICANE

	Consumo eléctrico (MEUR)	
	España	5 860,5
	Cantabria	169,2
Porcentaje		2,89 %

El consumo eléctrico queda dominado por el sector industrial, siendo el descenso que se acusa a partir de 2008 debido a la desaceleración de dicho sector, que representa un 79% de la demanda energética.

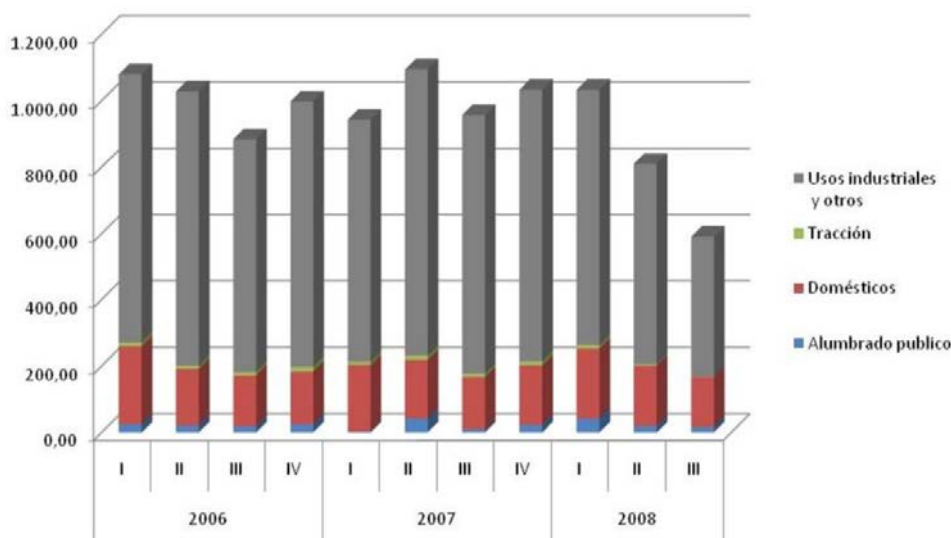


Gráfico 5-1: Consumo de energía eléctrica según su utilización en Cantabria, en GWh.

Fuente: ICANE

Por esta naturaleza industrial, queda patente que las zonas de elevada demanda de electricidad corresponden al área de Santander, la comarca del Besaya, y el núcleo industrial de Reinosa.

Por otra parte, el sector turístico en periodo estival hace que las zonas costeras como Laredo, San Vicente de la Barquera, o Santoña sean grandes solicitantes de energía eléctrica.

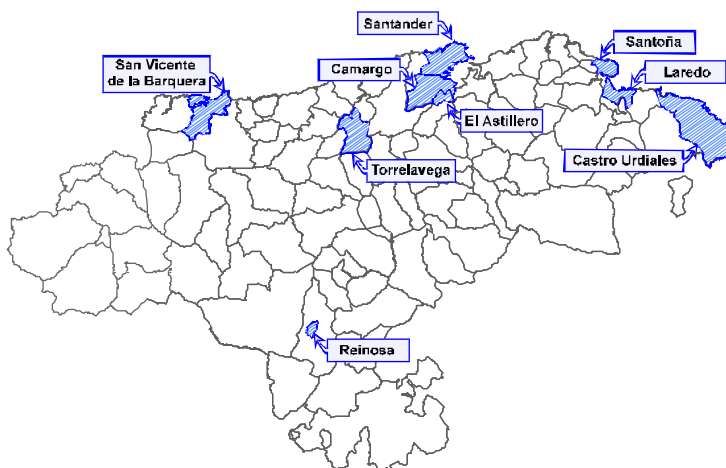


Gráfico 5-2: Lugares de alta demanda eléctrica en Cantabria.

Fuente: Electra de Viesgo

• Generación eléctrica

Por la Ley 54/1997 se establecían en España los regímenes ordinario y especial de generación eléctrica. No obstante, la posterior Ley 24/2013 del Sector Eléctrico deroga este tipo de regímenes, por lo que, desde la implantación de esta nueva ordenanza, el sector de generación queda del siguiente modo:

Tabla 5-27: Evolución de la generación de energía eléctrica desde 2013.

Fuente: ICANE

	Hidráulica (3)	Turbinación bombeo	Eólica	Solar	Térmica renovable/Otras renovables (2)
Año	MW	MW	MW	MW	MW
2013	98	361	35	2	13
2014	98	361	35	2	13
2015	98	361	35	2	13
2016	98	361	35	2	13
2017	99	361	35	2	13
2018	99	361	35	2	13

	Cogeneración	Residuos	Residuos renovables	Residuos no renovables	Total
Año	MW	MW	MW	MW	MW
2013	312	0	0	0	821
2014	312	0	0	0	821
2015	296	10	5	5	815
2016	296	10	5	5	815
2017	296	10	5	5	815
2018	296	10	5	5	815

El gran peso de la generación recae en la energía hidráulica, entre los saltos de agua simples y las centrales de bombeo. Éstas se concentran en gran medida en el sur y oeste de la comunidad, destacando las centrales de Celís, Herrerías, Peña Bejo y Rozadío, propiedad de Acciona Energía, las de Aguayo y Torina por parte de Repsol Energía, y las de Guriezo Superior e Inferior, pertenecientes a Iberdrola Generación.

El resto de fuentes de energía apenas tienen un peso relevante en la generación, siendo necesario la importación de energía eléctrica desde las centrales eléctricas de las regiones vecinas.

- **Red de transporte de alta tensión**

En Cantabria, la red de transporte se encuentra dividida en los siguientes tipos:

- Líneas de alta tensión de 400 kV y 220 kV (LAT).
- Parques y subestaciones de alta tensión.
- Transformadores de alta tensión.

En toda la comunidad, sólo existe una red de 400 kV, que une la central térmica de Velilla del Río Carrión (Palencia) con la central hidroeléctrica de Aguayo. En esta central, un transformador de 400 MVA rebaja la tensión a 220 kV.

Tabla 5-28: Características de la línea de alta tensión a 400 kV en Cantabria.

Fuente: Red Eléctrica de España

Origen de la línea	Final de la línea	Año de alta	Nº circuitos	Longitud
Velilla del Río	Velilla	1986	1	82,4 km

Tabla 5-29: Capacidad de transporte de la línea Velilla-Aguayo, en MVA.

Fuente: Red Eléctrica de España

Invierno	Primavera	Verano	Otoño
1 310	1 150	930	1 030

A su vez, existen seis interconexiones a 220 kV, gestionados por REE:

Tabla 5-30: Características de las líneas de alta tensión de REE a 220 kV en Cantabria.

Fuente: Red Eléctrica de España

Origen de la línea	Final de la línea	Año de alta	Nº circuitos	Longitud
Aguayo	Penagos 1	1992	1	31,1 km
Aguayo	Penagos 2	1997	1	44,6 km
Aguayo	Garofía	1997	1	90,5 km
Penagos	Puente San Miguel	1978	1	25 km
Puente San Miguel	Siero 1	1956	1	139,5 km
Puente San Miguel	Siero 2	1971	2	138,5 km

Tabla 5-31: Capacidades de transporte en MVA de las líneas de AT de REE a 220 kV en Cantabria.

Fuente: Red Eléctrica de España

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Aguayo-Penagos 1	720	650	610	610
Aguayo-Penagos 2	460	450	440	440
Aguayo-Garofía	350	340	310	320
Penagos-P. San Miguel	350	340	330	330
P. San Miguel-Siero 1	350	340	330	330
P. San Miguel-Siero 2	350	340	330	330

Aparte, Viesgo Distribución tiene una serie de líneas de transporte a alta tensión:

Tabla 5-32: Características de las líneas de alta tensión de Viesgo a 220 kV en Cantabria.

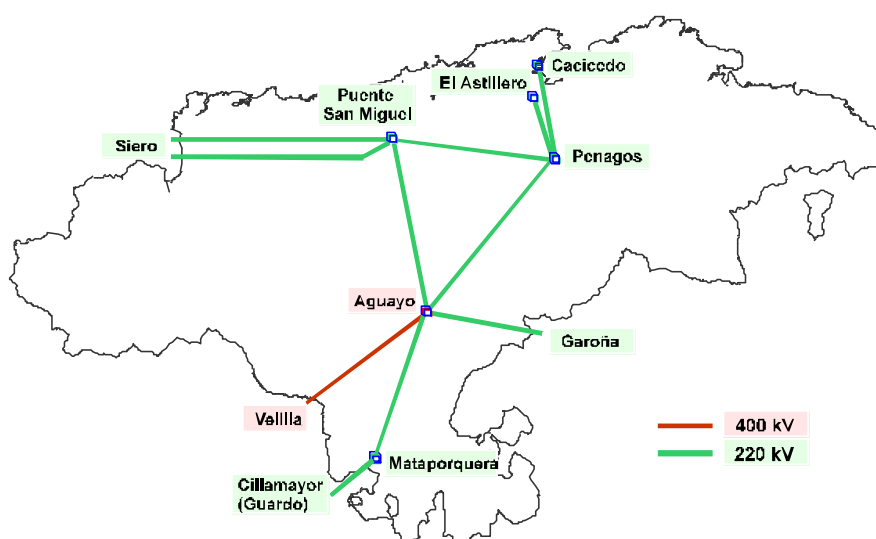
Origen de la línea	Final de la línea	Tipo de línea	Nº circuitos	Longitud
Aguayo Subest.	Puente San Miguel	Aérea	1	31,1 km
Aguayo Central	Aguayo Subest.	Aérea	2	3,2 km
Astillero	Boo	Aérea	1	2,44 km
Cacicedo	GSW	Aérea	1	1,61 km
Cillamayor	Mataporquera	Aérea	1	8,01 km
Guardo	Cillamayor	Aérea	1	50,79 km
Mataporquera	Aguayo	Aérea	1	32,3 km
Penagos	Astillero	Aérea	2	7,68 km
Penagos	Cacicedo	Aérea	1	14,41 km
Cacicedo	GSW	Subterránea	1	463 m

Fuente: Viesgo Distribución

Tabla 5-33: Capacidades de transporte en MVA de las líneas de AT de Viesgo a 220 kV en Cantabria.

Fuente: Viesgo Distribución

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Cacicedo-GSW	369	369	330	369
Aguayo-P. San Miguel	304	304	304	304
Mataporquera-Aguayo	304	304	304	304
Astillero-Boo	152	152	152	152
Penagos-Astillero	304	304	304	304
Astillero-Repsol Quím.	152	152	152	152
Penagos-Cacicedo	369	369	330	369
Cillamayor-Mataporquera	152	152	152	152



Cuadro 5-14: Situación geográfica de las líneas de transporte de alta tensión en Cantabria.

Fuente: Electra de Viesgo

• **Red de distribución: alta, media y baja tensión**

En Cantabria, la distribución de electricidad en alta tensión empieza en los transformadores 220/130 kV en las localidades de Astillero, Cacicedo, Mataporquera y Puente San Miguel:

- La subestación de Astillero incluye dos transformadores de 220 kV/55 kV de 180 MVA de potencia, que surte de electricidad a la zona este.
- La subestación de Cacicedo contiene un transformador de 220 kV/55 kV de 180 MVA, suministrando electricidad principalmente a la ciudad de Santander y su área metropolitana.
- La subestación de Mataporquera consta de dos transformadores de 220 kV/130 kV, con 150 MVA que alimentan la zona sur de Cantabria.
- La subestación de Puente San Miguel incluye dos transformadores de 220 kV/55 kV, 180 MVA, dando corriente a las comarcas en el centro y oeste.

Las red de distribución alcanza las tensiones comprendidas entre 220 kV y 36 kV, considerándose en régimen de reparto en las tensiones asignadas de 130 kV y 55 kV; su diseño se contempla para poder soportar posibles ampliaciones por solicitudes de suministro.

Tabla 5-34: Características de las líneas de distribución a 130 kV en Cantabria.

Fuente: Viesgo Distribución; REE

Origen	Final	Tipo	Nº circuitos	Longitud
Arenas	Urdón	Aérea	1	25,1 km
Camarmeña	Urdón	Aérea	1	14,31 km
Mataporquera	Aguilar	Aérea	1	14,56 km
Mataporquera	Naval	Aérea	1	12,38 km
Mataporquera	Osorno	Aérea	1	57,89 km
Mataporquera	Reinosa	Aérea	2	12,67 km
Guardo	Peña de Bejo	Aérea	1	70 km
Urdón	La Hermida	Aérea	1	0,25 km
Urdón	Reinosa	Aérea	2	73,68 km
Urdón	Puente San Miguel	Aérea	1	52,4 km

Tabla 5-35: Subestaciones de reparto en Cantabria.

Fuente: Viesgo Distribución; REE

Denominación	Localidad	Salidas de línea
<i>La Hermida</i>	Peñarrubia	1
<i>Mataporquera</i>	Valdeolea	4
<i>Puente San Miguel</i>	Reocín	1
<i>Reinosa</i>	Reinosa	2
<i>Urdón</i>	Peñarrubia	5

En cuanto a la red de distribución a 55 kV, Viesgo Distribución cuenta con 29 subestaciones, con 49 transformadores que suman una potencia total de 841,2 MVA, que suministra electricidad a través de 591,5 km de redes aéreas y 11,1 km de cableado subterráneo.

Adif, como empresa responsable de la infraestructura ferroviaria, alimenta a sus redes electrificadas con 55,7 km de tendido eléctrico para su red de ancho ibérico, mediante 4 subestaciones de cambio de fase-rectificadores de 55 kV CA/3000 V CC, sumando una potencia de 17,6 MVA. También la red eléctrica de ancho métrico queda suministrada a partir de 63,9 km de conductor desnudo, por 1 subestación de 3 transformadores rectificadores de 55 kV CA/1500 V CC, con 3,25 MVA de potencia.

Por otra parte, la red de distribución de media tensión en Cantabria se realiza en tensiones a 30 kV, 13,2 kV y 12 kV. por parte de Viesgo Distribución e Iberdrola Distribución Eléctrica, véase Tabla 5-36 y Tabla 5-37.

Tabla 5-36: Lista de centros de transformación en Cantabria.

Fuente: Viesgo Distribución; Iberdrola Distribución Eléctrica

Distri- buidora	Denominación	Localidad	Tensiones (AT/BT), en kV	Potencia, en MVA	Circuitos
Viesgo	<i>Brañavieja</i>	H. Campoo de Suso	30/12	12	1
Viesgo	<i>La Hernida</i>	Peñarrubia	30/12	1	1
Viesgo	<i>Urdón</i>	Peñarrubia	30/12	6	2
Viesgo	<i>Ojedo</i>	Cillorigo Castro	30/12	8	1
Viesgo	<i>Polientes</i>	Valderredible	30/12	5	N/D
Viesgo	<i>Reinosa</i>	Reinosa	30/12	24	6
Viesgo	<i>Valdeolea</i>	Valdeolea	30/12	5	1
Viesgo	<i>Mataporquera</i>	Mataporquera	30/12	N/D	8
Iberdrola	<i>Castro Urdiales</i>	Castro Urdiales	30/13	6	3
Iberdrola	<i>Ontón</i>	Castro Urdiales	30/13	3	3
Iberdrola	<i>La Plana</i>	Castro Urdiales	30/13	12	6
Iberdrola	<i>Guriezo Inf.</i>	Guriezo	30/13	3	1

Tabla 5-37: Redes de distribución en media tensión.

Fuente: Viesgo Distribución; Iberdrola Distribución Eléctrica

Distribuidora	Tipo	Tensión en kV	Extensión de la red
Viesgo	Aérea	30	281,9 km
Viesgo	Aérea	25	3 km
Viesgo	Aérea	12	2 750 km
Viesgo	Subterránea	30	2 km
Viesgo	Subterránea	12	530,9 km
Iberdrola	Aérea	30	50,5 km
Iberdrola	Aérea	13,2	260 km
Iberdrola	Subterránea	30	1,7
Iberdrola	Subterránea	13,2	120

En el último lugar se encuentra la red de distribución a baja tensión, contemplada por los centros de transformación y las redes descritas en Tabla 5-38.

Tabla 5-38: Centros de transformación y red de suministro en BT.

Fuente: Viesgo Distribución; Iberdrola Distribución Eléctrica

Distribuidora	Cantidad	Potencia en MVA	Extensión de la red
Viesgo	4 157	920	7 448
Iberdrola	168	41	350

- **Comercializadores de energía eléctrica**

El suministro comercial de energía eléctrica viene regulado por la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, y las tarifas aplicables por la la Orden IET/2735/2015. [38] El ejercicio de la comercialización queda a cargo de las suministradoras de energía.

Orientado a consumidores de grandes potencias y alta tensión, de acuerdo con la Orden mencionada, para tensiones de suministro en alta tensión se ofrecen una serie de tarifas donde se marca el precio de los peajes de acceso de energía eléctrica.

Tabla 5-39: Términos de potencia y energía de las tarifas de alta tensión, hasta 145 kV.

TP: Término de potencia – TE: Término de energía

Fuente: Boletín Oficial del Estado, IDAE

Tarifa 6.1A (de 1 kV a 30 kV)			
TP	EUR/kW año	TE	EUR/kWh
P1	39,139427	P1	0,026674
P2	19,586654	P2	0,019921
P3	14,334178	P3	0,010615
P4	14,334178	P4	0,005283
P5	14,334178	P5	0,003411
P6	6,540177	P6	0,002137

Tarifa 6.1B (de 30 kV a 36 kV)			
TP	EUR/kW año	TE	EUR/kWh
P1	31,020989	P1	0,021822
P2	15,523919	P2	0,016297
P3	11,360932	P3	0,008685
P4	11,360932	P4	0,004322
P5	11,360932	P5	0,002791
P6	5,183592	P6	0,001746

Tarifa 6.2 (de 36 kV a 72 kV)			
TP	EUR/kW año	TE	EUR/kWh
P1	22,158348	P1	0,015587
P2	11,088763	P2	0,011641
P3	8,115134	P3	0,006204
P4	8,115134	P4	0,003087
P5	8,115134	P5	0,001993
P6	3,702649	P6	0,001247

Tarifa 6.3 (de 72 kV a 145 kV)			
TP	EUR/kW año	TE	EUR/kWh
P1	18,916198	P1	0,015048
P2	9,466286	P2	0,011237
P3	6,92775	P3	0,005987
P4	6,92775	P4	0,002979
P5	6,92775	P5	0,001924
P6	3,160887	P6	0,001206

Tarifa 6.4 (más de 145 kV)			
TP	EUR/kW año	TE	EUR/kWh
P1	13,706285	P1	0,008465
P2	6,859077	P2	0,007022
P3	5,019707	P3	0,004025
P4	5,019707	P4	0,002285
P5	5,019707	P5	0,001475
P6	2,290315	P6	0,001018

Tarifa 6.5 (Conex. Internacional)			
TP	EUR/kW año	TE	EUR/kWh
P1	13,706285	P1	0,008465
P2	6,859077	P2	0,007022
P3	5,019707	P3	0,004025
P4	5,019707	P4	0,002285
P5	5,019707	P5	0,001475
P6	2,290315	P6	0,001018

5.3 SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

5.3.1 Clima

5.3.1.1 Temperatura y pluviometría

La situación geográfica en la que se sitúa la zona de estudio determina un clima con temperaturas moderadas, con un alto contenido de humedad, y abundante en precipitaciones, dentro de las características de un clima atlántico. Esto implica un régimen de estaciones suaves; el invierno, dependiendo del año, puede ser inestable (frentes fríos provocan grandes variaciones del tiempo, en donde cohabitan en un mismo día temperaturas con hasta 10 °C de diferencia térmica) o estable, debido a anticiclones que permiten un tiempo primaveral de hasta un mes de duración. Es en esta estación cuando se registra el máximo pluviométrico, con alrededor de 140 mm de lámina de agua.

La primavera destaca por su alta variabilidad, en donde existe una igual probabilidad de tener una jornada soleada que de tener un día lluvioso, inclusive tormentoso. Es durante el mes de abril cuando se registra un pico en el régimen pluviométrico, incluso registrándose breves episodios de nieve o granizo. El verano es suave y sin gran ascenso de las temperaturas, apenas sobrepasando los 30 °C; el tiempo se estabiliza y el contenido en humedad desciende de forma notable. El otoño destaca como un marcado periodo de transición hacia el invierno, conservando al principio los días veraniegos, que se alternan de forma gradual con los fríos y lluviosos días del invierno.

Térmicamente, la temperatura media anual es de 14 °C en la costa, y de 12,5 °C en los alrededores de Torrelavega; el entorno costero se ve influido por las masas de aire atlántico, originados en la depresión de Islandia, junto con las masas de aire provenientes del trópico del anticiclón de las Azores, por lo que la amplitud térmica es escasa y el gradiente de temperaturas, muy suave. En el entorno de Torrelavega, los vientos a sotavento³³ dominantes de poca fuerza, y un fenómeno de inversión térmica³⁴ en las estaciones de invierno y verano, provocan una mayor dureza de las condiciones con respecto a la costa, aproximándose más al tiempo que se espera en zonas como la Meseta Central.

Tabla 5-40: Tabla climática de la zona de estudio; datos tomados en Santander.

Fuente: Climate Data

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T. media (°C)	9.3	9.4	11.5	12.6	14.3	17.3	19.1	19.4	18.3	15.5	12.3	10.2
T. mín. (°C)	6.7	6.7	8.2	9.4	11.4	14.4	16.4	16.5	15.1	12.4	9.5	7.6
T. máx. (°C)	12	12.2	14.8	15.8	17.3	20.2	21.8	22.4	21.5	18.7	15.1	12.8
Precipitación (mm)	99	79	76	96	68	59	44	71	98	112	135	136

³³ En meteorología, se refiere a aquella zona geográfica que está en contra de la dirección del viento; esto es, está protegido de la acción dominante del viento (viento a barlovento).

³⁴ Fenómeno atmosférico caracterizado por un ascenso anómalo de la temperatura del aire al subir en elevación, provocando una densidad del aire menor en las zonas bajas, provocando que las corrientes de conducción típicas se interrumpan, y concentrándose el calor en la zona inferior.

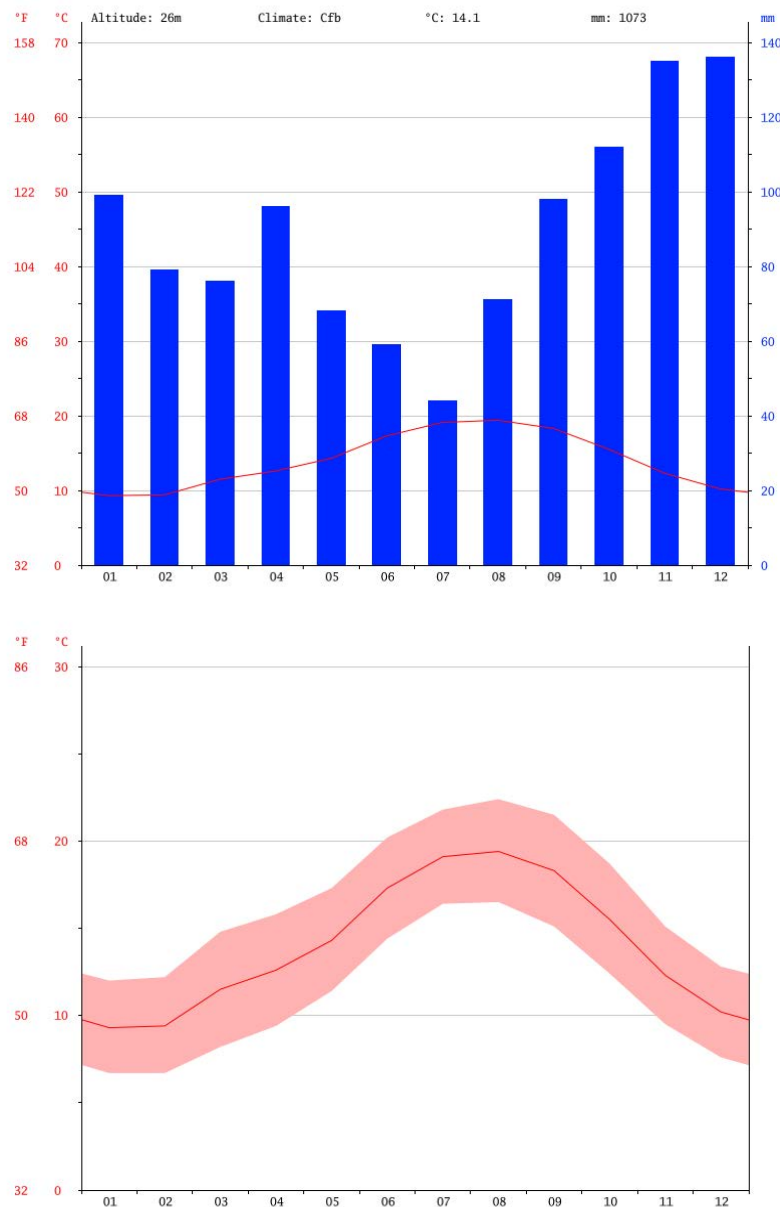


Gráfico 5-3: Climograma (superior) y diagrama térmico (inferior) de la zona de estudio; datos tomados en Santander.

Fuente: Climate Data

Tabla 5-41: Tabla climática de la zona de estudio; datos tomados en Torrelavega.

Fuente: Climate Data

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T. media (°C)	9.1	9.3	11.4	12.8	14.6	17.7	19.6	19.8	18.6	15.6	12.2	10.1
T. mín. (°C)	6.3	6.4	8	9.3	11.4	14.4	16.3	16.5	15.1	12.2	9.2	7.4
T. máx. (°C)	11.9	12.3	14.9	16.3	17.9	21	22.9	23.2	22.1	19	15.3	12.9
Precipitación (mm)	85	68	67	86	62	54	39	61	84	99	120	115

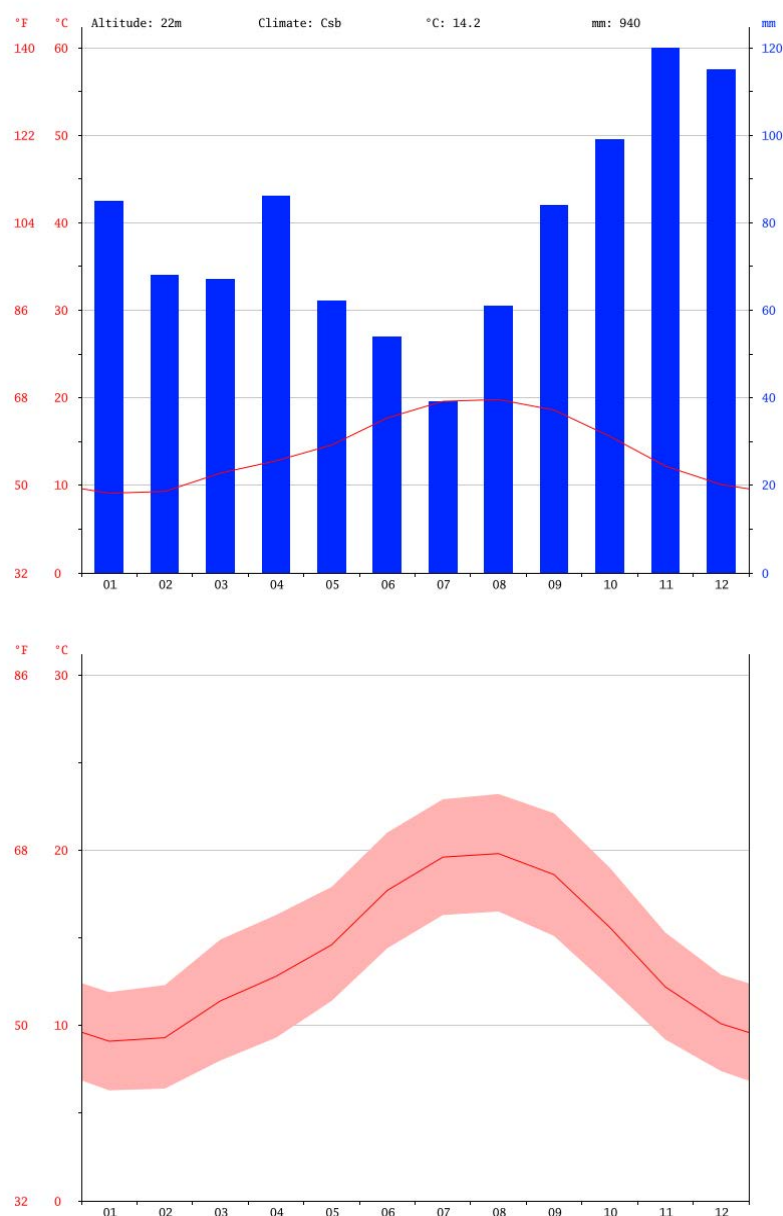


Gráfico 5-4: Climograma (superior) y diagrama térmico (inferior) de la zona de estudio; datos tomados en Torrelavega.

Fuente: Climate Data

5.3.1.2 Régimen de vientos

Debido al hecho de que la zona de estudio descansa sobre la falda de la Cordillera Cantábrica en dirección al litoral, los vientos discurren en paralelo a la formación montañosa. Los vientos predominantes en la franja cantábrica tienen componente oeste, aunque son comunes los denominados *vientos del sur*, debidos al efecto Foehn³⁵.

³⁵ Efecto causado por una masa de aire cálido y húmedo que se ve obligada a ascender una montaña, provocando un enfriamiento del vapor del agua, y condensándose o sublimándose, en forma de lluvia o niebla. El aire pasa al otro lado de la montaña, seco.

Los giros violentos de este viento sureño hacia el oeste-noroeste provocan la *galerna*, causando un incremento de la velocidad del viento de hasta 25 m/s, y un descenso térmico de más de 12 °C. La velocidad media puede situarse en 10 m/s –media máxima de 14,2 m/s y máxima velocidad de 29,2 m/s (Aemet, 2018)–

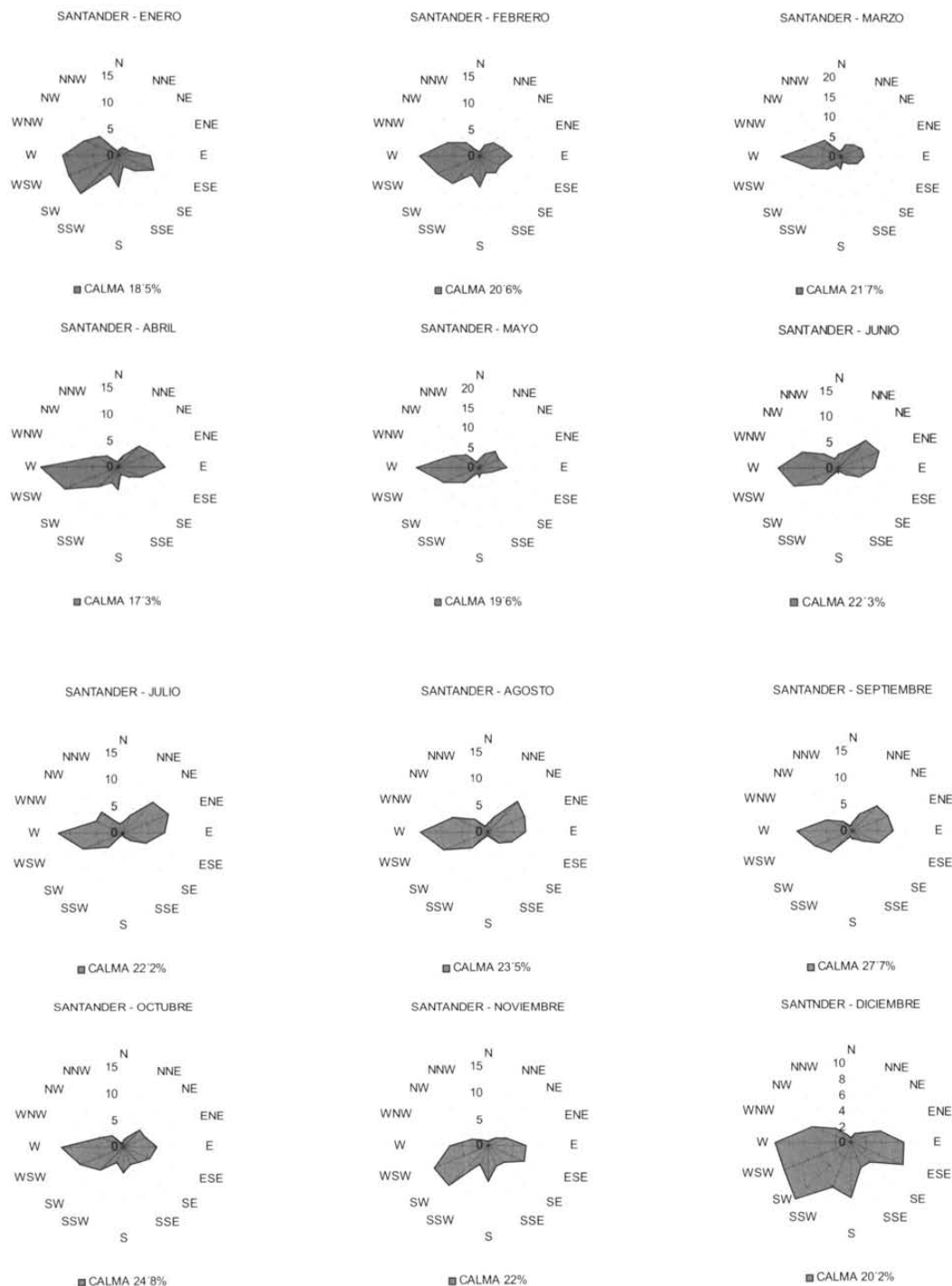


Gráfico 5-5: Frecuencias mensuales de las direcciones de los vientos en Santander.

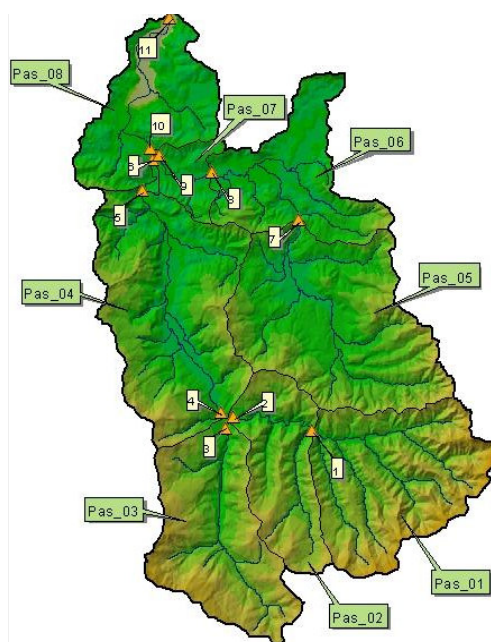
Fuente: Manuel Viedma

5.3.2 Hidrografía

La zona de estudio afecta de forma principal a la cuenca hidrográfica del Pas. Ésta abarca una superficie total de 649 km², y queda delimitada por las cuencas de los ríos Miera y Saja, los Montes de Samo y Valnera, y la Sierra del Escudo. El río predominante es el Pas, junto con los arroyos de Pandillo y Yera, entre otros. Hasta su desembocadura en la Ría de Mogro, el Pas alcanza una extensión de 57 km.

Desde su nacimiento en Castro Valnera, el río discurre en dirección noroeste, recibiendo los caudales de Peña Negra, Peña Valnera, y el Puerto de Estacas de Trueba, así como de los arroyos de Aldano, Barcelada, Jaral y Viaña. En Entrabasmestas, el río varía su cauce hacia dirección norte, donde recibe por su margen derecha las aportaciones del río Pisueña, y desemboca al final en la Ría de Mogro.

La red hídrica de la cuenca queda definida por un sistema fluvial que supera los 110 km, véase el Cuadro 5-15 y la Tabla 5-42.



Cuadro 5-15: Cuenca Hidrográfica del Pas, con los puntos de control de los recursos hídricos de la cuenca.

Fuente: GESHA

Tabla 5-42: Características de los puntos de control de los recursos hídricos de la cuenca del Pas.

Fuente: GESHA

Localización	UTM-X	UTM-Y	Área de aportación (km ²)	Lluvia anual (mm)	Caudal Medio (m ³ /s)	Aportación anual (Hm ³)	Aportación anual (mm)	Coefficiente de escorrentía
Punto-01	432949,68	4779550,12	96,68	1403,50	2,822	88,99	920,50	0,66
Punto-02	427388,65	4780348,37	150,20	1331,50	4,062	128,10	852,90	0,64
Punto-03	427393,48	4780310,98	83,66	1097,40	1,637	51,62	617,10	0,56
Punto-04	427374,10	4780355,17	233,86	1247,70	5,698	179,69	768,40	0,62
Punto-05	421827,84	4795198,44	354,35	1300,20	8,996	283,70	800,60	0,62
Punto-06	422583,23	4797552,76	354,35	1300,20	8,996	283,70	800,60	0,62
Punto-07	431892,54	4793177,88	122,31	1486,60	3,554	112,08	916,40	0,62
Punto-08	426356,76	4796088,81	185,89	1467,20	5,237	165,15	888,50	0,61
Punto-09	422615,58	4797508,79	201,18	1447,20	5,565	175,50	872,30	0,60
Punto-10	422582,70	4797552,82	555,53	1353,40	14,561	459,20	826,60	0,61
Punto-11	423418,45	4806241,76	620,40	1343,80	16,026	505,40	814,60	0,61

Esta cuenca se caracteriza por ser una de las más alteradas por las actividades humanas, con un total de 197 alteraciones en el río Pisueña, y 285 en el Pas, con lo que se estima hay en torno a 6 alteraciones por km de longitud.

El Pas es un río altamente alterado, debido en gran parte a modificaciones de cauce en el tramo medio del río, a la altura de Puente Viesgo. Del mismo modo, en las localidades de Alceda y Soto Iruz, el río ha sido canalizado de forma artificial.

5.3.3 Medio biótico

En la descripción del medio biótico establecido en torno a la zona de estudio, se ha tener especial consideración en la división de las denominadas *comarcas naturales*, divisiones del medio natural diferenciadas entre sí por sus singulares características climáticas, bióticas y demográficas. Para la descripción que ocupa el estudio, la comarca de la Franja Costera es el cuadro natural que enmarca la zona de interés.

5.3.3.1 Flora

Por un lado se aprecian campos de dunas, estuarios, y bahías, que se caracterizan por ser lugares de alta productividad biológica. Los prados de siega son las unidades naturales más relevantes, debido a su peso dentro de la economía regional, así como su vasta extensión dentro de la comarca.

Se pueden mencionar numerosas especies de gramíneas (*Festuca*, *Bromus*, *Arenatherum*), leguminosas, que conforman una hierba continua, de raíces fuertes y continuamente renovado. La elevada humedad permite que esta hierba se fortalezca y densifique. Entran especies como tréboles, lotus, vezas, dácilios, ray-grass...

Los prados se hallan sobre suelos ricos y profundos, mantenidos por la actividad periódica de la siega, que impide su transición a matorral. El clima de la costa permite, en determinadas zonas, el cultivo de flora de origen mediterráneo.

Con respecto a arbustos, en la Franja Costera se erigen dos formaciones: las landas euatlánticas (matorral arbustivo de árgoma, escajo o tojo –*Ulex europeus*–, brezo –*Erica arborea* y *Erica scorpioides*–, escobas –*Sarothamnus scoparius*–, etc.), caracterizadas por asentarse sobre suelo ácido, bajo alta radiación solar; por otro lado, el encinar cántabro, localizado sobre suelos calizos.

Son así comunes la encina, el laurel o el madroño. El manto arbóreo más común en esta Franja está dominado por el *Eucalyptus globulus* (eucalipto común), especie dedicada a su explotación por la industria papelera. Ciertas especies caducifolias, como el fresno, roble, avellano, castaño, rompen de forma puntual con la omnipresencia del eucalipto.



Cuadro 5-16: Landa euatlántica, con predominio del tojo o árgoma.

Fuente: Roberto Lumbreras



Cuadro 5-17: Conjunto arbóreo de eucaliptos.

Fuente: Kim Starr

• Especies protegidas

En virtud de la Ley 4/1989 y 42/2007 de Patrimonio y Biodiversidad, queda conformado un catálogo de especies amenazadas, reflejado en la Tabla 5-43.

Tabla 5-43: Catálogo de especies vegetales amenazadas, clasificadas por especie, nombre común y estatus actual.

Fuente: Juan Carlos Canteras et al.

<i>Glaucium flavum</i> Grantz	Adormidera marina	Extinta
<i>Otanthus maritimus</i> (L.) Hoffmanns & Link	Algodonosa	Extinta
<i>Aster pyrenaeus</i> Desf ex DC	Estrella de los pirineos	En peligro de extinción
<i>Culcita macrocarpa</i> C. Presl	Helecho de colchoneros	En peligro de extinción
<i>Deschampsia setacea</i> (Huds. Hackel)		En peligro de extinción
<i>Eleocharis parvula</i> (Roem & Schult.) Link ex Bluff, Nees & Schauer	Junquillo salado	En peligro de extinción
<i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz		En peligro de extinción
<i>Hibiscus palustris</i> L.	Hierba de plata	En peligro de extinción
<i>Medicago marina</i>	Hierba de plata	En peligro de extinción
<i>Pilularia globulifera</i> L.		En peligro de extinción
<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.		En peligro de extinción
<i>Androsace cantabrica</i> (Losa & P. Monts.) Kress		Vulnerable
<i>Asplenium petrarchae</i> (Guérin) DC		Vulnerable
<i>Callitriche palustris</i> L.	Estrella de agua	Vulnerable
<i>Campanula latifolia</i> L.		Vulnerable
<i>Chamaesyce peplis</i>	Lechetrezna de playa	Vulnerable
<i>Dryopteris corleyi</i> Fraser-Jenkins		Vulnerable
<i>Hugueninia tanacetifolia</i> (L.) Rchb.		Vulnerable
<i>Hymenophyllum tunbrigense</i> (L.) Sm.		Vulnerable
<i>Nuphar luteum</i> (L.) Sm.	Nenufar amarillo	Vulnerable
<i>Rorippa islandica</i> (Gunnerus) Borbás		Vulnerable
<i>Salix breviserrata</i> Flod.	Sauce rastrero	Vulnerable
<i>Salix repens</i> L.	Sauce de hoja pequeña	Vulnerable
<i>Soldanella villosa</i> Darracq ex Kabarrère		Vulnerable
<i>Suaeda vera</i> Forssk. Ex. J. F. Gmelin	Sosa	Vulnerable
<i>Triglochin palustris</i> L.	Junco bastardo	Vulnerable
<i>Vandenboschia speciosa</i> (Willd.) Kunkel		Vulnerable

5.3.3.2 Fauna

Las zonas con mayor densidad faunística son aquellas apegadas al medio marino: playas, dunas, rías y acantilados. La fauna que estos lugares es sui generis: playas y rías son recorridas por aves limícolas (ostrero, correlimos tridáctilo) y aves marinas que encuentran en estas zonas un lugar de descanso o comida (gaviotas y cormoranes, principalmente). En las zonas húmedas del litoral, bandadas de aves migratorias (ánades, cigüeñuelas, somorgujos) recorren estas zonas a su paso.

En las zonas rocosas de la costa, ciertas especies silvestres buscan refugio, como la comadreja, el halcón peregrino, la marta o el zorro. Del mismo modo, pueden encontrarse formaciones de cormoranes o gaviotas.

En los prados y matorrales abundan los roedores, como el ratón común o su variante de campo. Del mismo modo, pueden encontrarse insectívoros y demás mamíferos de pequeño tamaño, cada vez en mayor número por la desaparición de las aves rapaces.

• Especies amenazadas

Dentro de la zona de estudio, es previsible encontrar al menos alguna de las siguientes especies, como se aprecia en la Tabla 5-44.

Tabla 5-44: Listado de especies amenazadas, clasificado por especie, denominación común y nombre.

Fuente: Juan Carlos Canteras et al.

INVERTEBRADOS NO ARTRÓPODOS					
<i>Belgrandiella montana</i> (Rolán, 1993)			Vulnerable		
<i>Charonia lampas lampas</i> (Linnaeus, 1758)	Tritón marino		Vulnerable		
<i>Cochlostoma (Obscurella) oscitans</i> (Gofas, 1989)			Vulnerable		
<i>Deroceras ercinae</i> (De Winter, 1985)			Vulnerable		
<i>Geomalacus (Geomalacus) maculosus</i> (Allman, 1843)			Vulnerable		
<i>Papilloderma altonagai</i> (Wiktor, Martín y Castillejo, 1990)			Vulnerable		
<i>Pinna nobilis</i> (Linnaeus, 1759)	Nácar		Vulnerable		
INVERTEBRADOS ARTRÓPODOS					
<i>Osmoderma eremita</i> (Scopoli, 1753)			Sensible alt. hábitat		
<i>Limoniscus violaceus</i> (Müller, 1821)	Escarabajo resorte		Sensible alt. hábitat		
<i>Austropotamobius pallipes</i> (Leieboulet, 1858)	Cangrejo de río		Vulnerable		
<i>Bombus (Thoracobombus) inexpectatus</i> Tkalcu, 1963)			Vulnerable		
<i>Cantabrogeus luquei</i> (Salgado, 1993)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Coenagrion mercuriale</i> (Charpentier, 1840)	Caballito del diablo		Vulnerable		
<i>Lycaena helle</i> (Dennis y Schiffermüller, 1775)			Vulnerable		
<i>Maculinea nausithous</i> (Bergsträsser, 1779)	Hormiguera oscura		Vulnerable		
<i>Rosalia alpina</i> (Linnaeus, 1758)			Vulnerable		
<i>Espanoliella luquei</i> (Salg. y Fresneda, 2005)			Vulnerable		
<i>Espanoliella urdialensis</i> (Bolívar, 1917)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Espanoliella jeanneli</i> (Bolívar, 1917)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Pterostichus (Lianoe) drescoi</i> (Nègre, 1957)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Quaestus (Samanolla) oxypterus</i> (Bolívar, 1917)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Quaestus (Quaestus) arcanus</i> (Schauffuss, 1861)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Quaestus (Amphageus) escalerae</i> (Jeannel, 1910)	Escarabajo de cueva		Vulnerable		
<i>Entomobrya boneti</i> (Jordana & Baquero, 2006)	Colémbolo de cueva		Vulnerable		
PECES					
<i>Petromyzon marinus</i> (Linnaeus, 1758)			Vulnerable		
ANFIBIOS					
<i>Hyla arborea</i> (Linnaeus, 1758)	Rana de San Antonio		Vulnerable		
<i>Rana iberica</i> (Boulenger, 1879)	Rana patilarga		Vulnerable		
AVES					
<i>Gypaetus barbatus</i> (Linnaeus, 1758)	Quebrantahuesos		Extinta		
<i>Hieraetus fasciatus</i> (Vieillot, 1882)	Águila azor perdicera		Extinta		
<i>Hydrobates pelagicus</i> (Linnaeus, 1758)	Paíño europeo		En peligro de extinción		
<i>Milvus milvus</i> (Boddaert, 1783)	Milano real		En peligro de extinción		
<i>Tetrao urogallus cantabricus</i> (Linnaeus, 1758)	Urogallo		En peligro de extinción		
<i>Aquila chrysaetos</i> (Linnaeus, 1758)	Águila real		Vulnerable		
<i>Circus pygargus</i> (Linnaeus, 1758)	Aguilucho cenizo		Vulnerable		
<i>Circus cyaneus</i> (Linnaeus, 1758)	Aguilucho pálido		Vulnerable		
<i>Neophron percnopterus</i> (Linnaeus, 1758)	Alimoche		Vulnerable		
<i>Perdix perdix</i> ssp. <i>hispaniensis</i> ssp. (Reichenow, 1892)	Perdiz pardilla		Vulnerable		
<i>Phalacrocorax aristotelis</i> (Linnaeus, 1761)	Cormorán moñudo		Vulnerable		
MAMÍFEROS					
<i>Ursus arctos</i> (Linnaeus, 1758)	Oso pardo		En peligro de extinción		
<i>Galemys pyrenaicus</i> (Geoffroy, 1811)	Desmán ibérico		Vulnerable		
<i>Balaenoptera acutorstrata</i> (Linnaeus, 1758)	Rorcual aliblanco		Vulnerable		
<i>Balaenoptera musculus</i> (Linnaeus, 1758)	Rorcual azul		Vulnerable		
<i>Balaenoptera physalus</i> (Linnaeus, 1758)	Rorcual común		Vulnerable		
<i>Physeter catodon</i> (Linnaeus, 1758)	Cachalote		Vulnerable		
<i>Tursiops truncatus</i> (Monatq, 1821)	Delfín mular		Vulnerable		
<i>Nyctalus lasiopterus</i> (Schreber, 1774)	Nóctulo común o gigante		Vulnerable		
<i>Nyctalus noctula</i> (Schreber, 1774)	Nóctulo mediano		Vulnerable		
<i>Miniopterus schreibersii</i> (Kuhl, 1817)	Murciélago de cueva		Vulnerable		
<i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1817)	Murciélago ratonero forestal		Vulnerable		
<i>Myotis emarginata</i> (Geoffroy, 1806)	Murciélago de Geoffroy		Vulnerable		
<i>Myotis mystacinus</i> (Kuhl, 1817)	Murciélago ratonero bigotudo		Vulnerable		
<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	Murciélago ratonero grande		Vulnerable		
<i>Rhinolophus euryale</i> (Blasius, 1853)	Murciélago mediterráneo de herradura		Vulnerable		
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreiber, 1774)	Murciélago grande de herradura		Vulnerable		
<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreiber, 1774)	Barbastella		Vulnerable		

5.3.3.3 Lugares de notable biodiversidad

Si bien la antropomorfización de la Franja Costera es bastante alta, existe dentro de la zona de estudio una serie de lugares donde los ecosistemas naturales son de especial interés común.

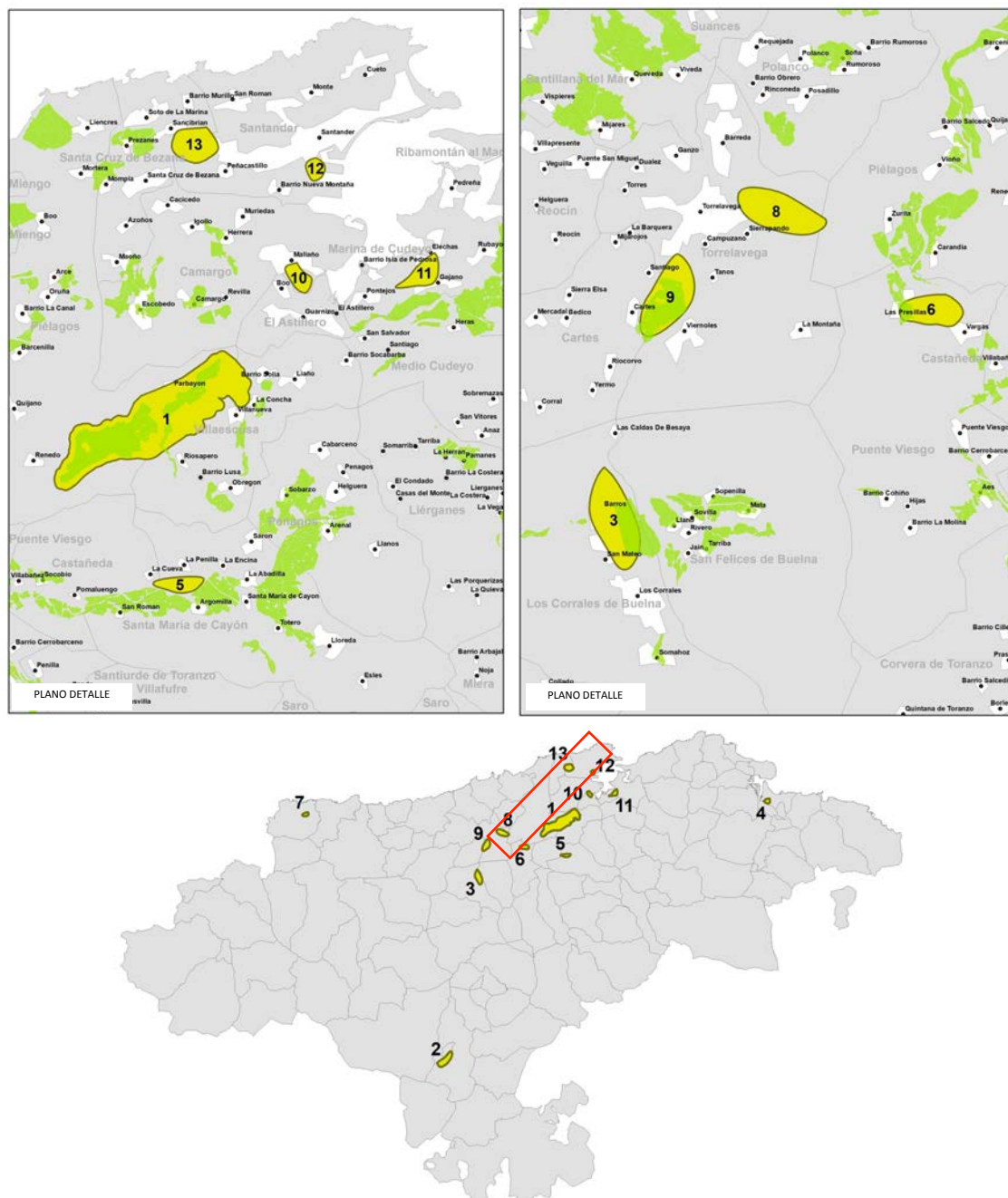
De este modo, puede enumerarse (Cendrero et al., 1986):

- Terrazas fluviales de Torrelavega: tres niveles de terrazas en la margen derecha del río Besaya.
- La Masera de Hinojedo: mesa formada por la presencia de un estrato calizo horizontal.

De igual forma, es necesario describir en el presente estudio aspectos como:

- **Suelos de alta productividad**

Atravesando la zona de estudio, aparecen diversos suelos con alta tasa de renovación de la biomasa, véase el Cuadro 5-18.



Cuadro 5-18: Delimitación de las zonas de alta productividad.

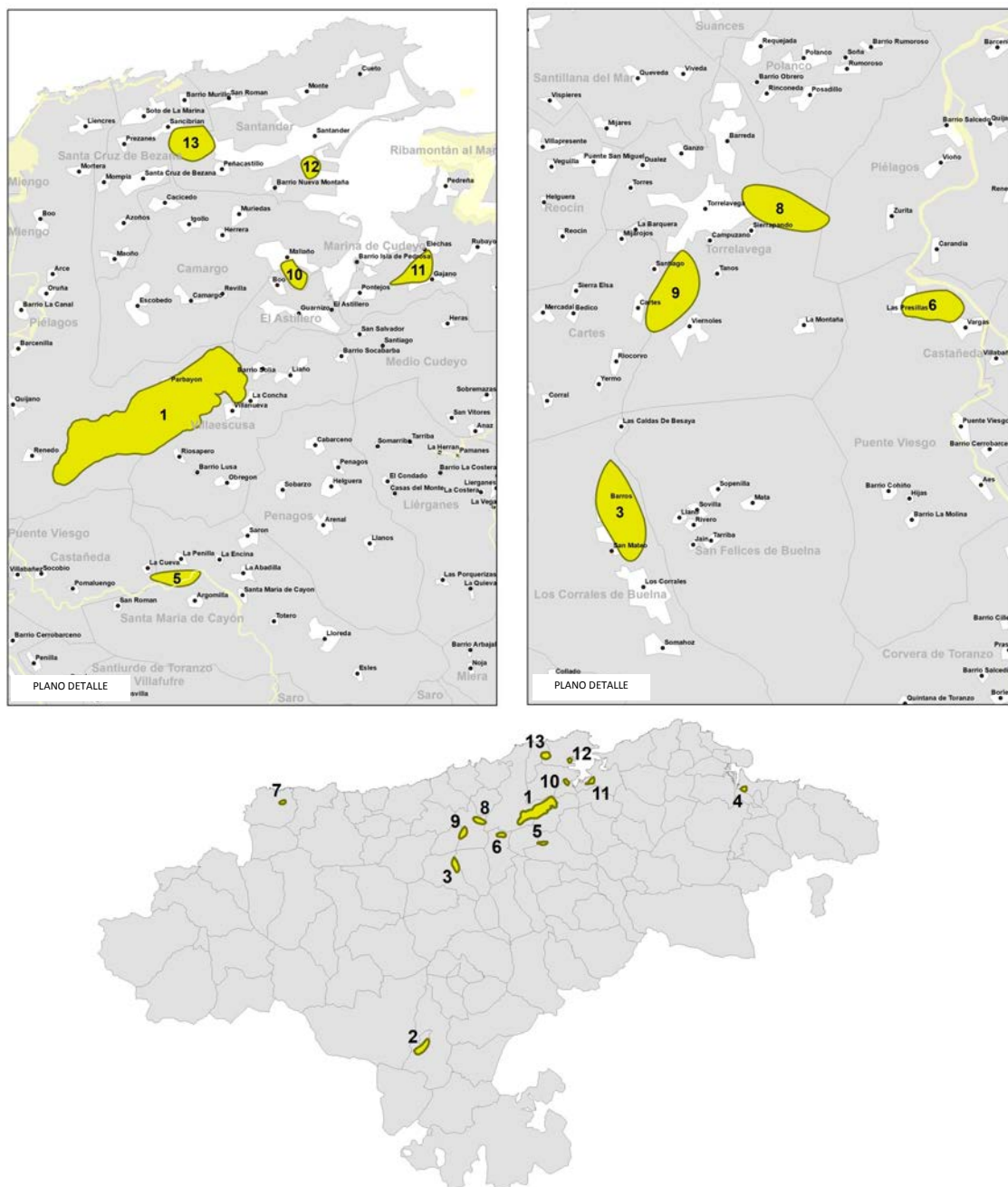
Izquierda, superior: zonas de alta productividad en el área metropolitana de Santander y Torrelavega, respectivamente. Aparecen coloreadas en color verde lima.

Izquierda, inferior: Zonas designadas como áreas estratégicas y locales. Numeradas, bajo fondo amarillo.

Fuente: Juan Carlos Canteras et al.

- **Red Natura 2000: Zonas de Especial Conservación y Zonas de Especial Protección para las Aves**

Si bien no existe ninguna ZEC que atravesase de forma directa el área estudiada, en las cercanías de éste puede verse alguna, como se demuestra en el Cuadro 5-19.



Cuadro 5-19: Delimitación de las zonas de Especial Conservación.

Izquierda, superior: ZEC en el área metropolitana de Santander y Torrelavega, respectivamente. Aparecen coloreadas en color beis.

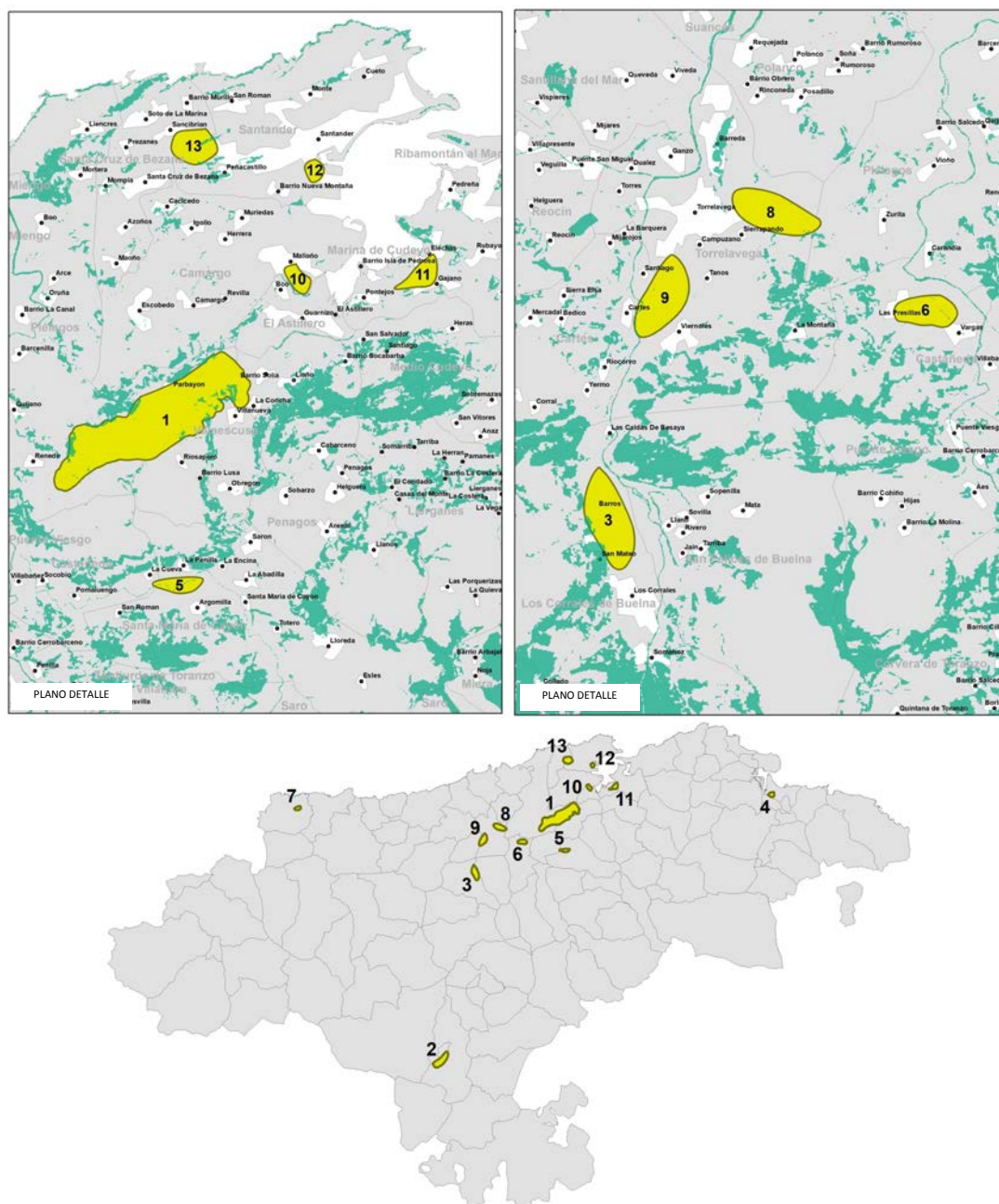
Izquierda, inferior: Zonas designadas como áreas estratégicas y locales. Numeradas, bajo fondo amarillo.

Fuente: Juan Carlos Canteras et al.

Del EAE del Plan Regional de Ordenación del Terreno (Canteras et al., 2007), no se aprecia, en la zona de estudio, ninguna afección cercana a alguna ZEPA.

- **Paisaje natural**

A lo largo y alrededor de la zona estudiada, hay abundantes muestras de paisaje natural, apréciase en el Cuadro 5-20.



Cuadro 5-20: Delimitación de las áreas de paisaje.

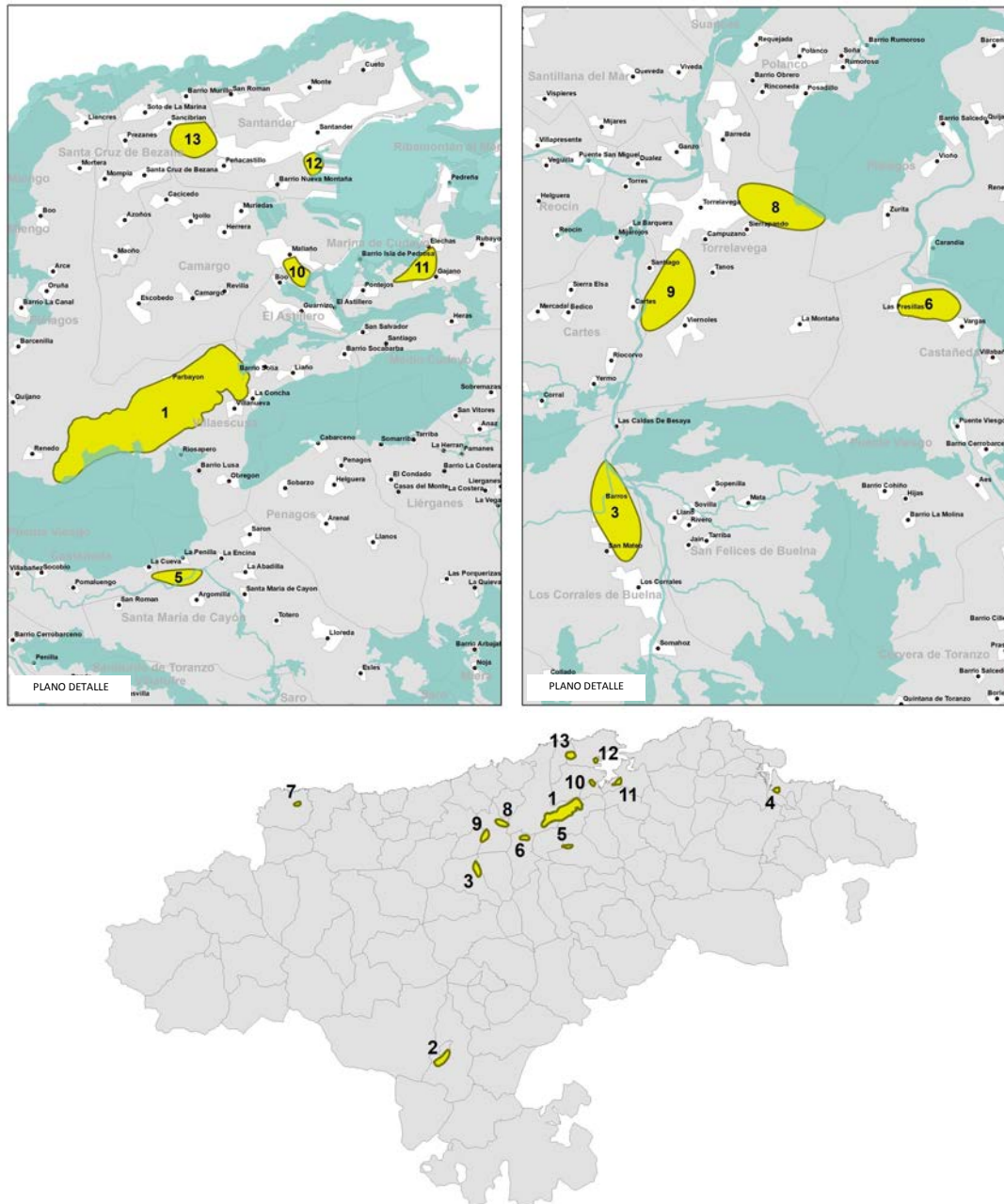
Izquierda, superior: Paisaje en el área metropolitana de Santander y Torrelavega, respectivamente. Aparecen coloreadas en color verde.

Izquierda, inferior: Zonas designadas como áreas estratégicas y locales. Numeradas, bajo fondo amarillo.

Fuente: Juan Carlos Canteras et al.

- **Conectividad ecológica y conservación de la biodiversidad**

De modo análogo al paisaje, la zona de estudio contiene en su entorno diversos lugares de conectividad ecológica y conservación de la biodiversidad; advertir Cuadro 5-21.



Cuadro 5-21: Delimitación de las áreas de conectividad ecológica y conservación de la biodiversidad.

Izquierda, superior: Paisaje en el área metropolitana de Santander y Torrelavega, respectivamente.

Aparecen coloreadas en color turquesa.

Izquierda, inferior: Zonas designadas como áreas estratégicas y locales. Numeradas, bajo fondo amarillo.

Fuente: Juan Carlos Canteras et al.

5.4 SÍNTESIS DE LA DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El entorno estudiado para la implantación de una autopista eléctrica posee una serie de características que es notable señalar. Como se ha mencionado en la descripción, estas cualidades se desarrollan en la vertiente geológica, social y medioambiental.

Atendiendo al primer apartado, el área de estudio tiene gran riqueza geológica, en donde el aspecto de mayor interés es el yacimiento de zinc de gran extensión ubicado al noroeste de Torrelavega. Este hecho es el que permite dotar al proyecto estudiado una aplicación práctica para su razón de ser, pero no es ni mucho menos el único punto a destacar.

También, aunque se mencione de forma breve, el nivel de aceleración sísmica en la zona no supera los 0,04 g, lo que no obliga a aplicar la Norma de Construcción Sismorresistente NSCP-07. Esto permite una mayor tolerancia a la hora de construir la infraestructura necesaria para la electrificación de la autopista.

En el apartado sociodemográfico, es notable ver la diferente composición y división de los sectores económicos de cada localidad, hecho que puede confluir ciertas sinergias con el propósito del proyecto estudiado, aumentando su alcance y utilización.

Este dinamismo se nota por la necesidad de recursos materiales y humanos de las grandes urbes (Santander y Torrelavega), que son en su parte suplidos por las pequeñas localidades. Del mismo modo, éstas pueden crecer su influencia al utilizar la infraestructura propuesta para llevar a cabo su actividad económica.



Cuadro 5-22: Diferencias constructivas entre una autovía y una carretera.

Superior: una autovía estándar de varios carriles, separa del resto del entorno por guardarraíles, un muro vegetal y barreras que impiden el paso de no vehículos al área. Debidamente iluminada, con espacio para arcén y sentidos de la circulación bien diferenciados, permiten establecer una zona de trabajo que no dificulte el tránsito del tráfico.

Inferior: una carretera nacional de doble sentido y única calzada. No posee elementos que la separen del resto del entorno, está rodeada de viviendas, hogares y zonas de tránsito común, y su firme no está tan cuidado como el de una autovía. Su trazado no es adecuado para la óptima construcción de una infraestructura como la proyectada.

Fuente: Wikimedia Commons

Si bien no se destaca en la descripción social del entorno, la evolución de la población, tanto de las grandes urbes como de los pueblos aledaños, actualmente se sitúa en una fase de decrecimiento, siendo uno de los factores más relevantes la desaceleración de la economía regional. Puede constituir, por tanto, un hecho clave la construcción de esta empresa para el desarrollo de la economía en desaceleración de la zona, si bien sus efectos reales no serán directamente medibles hasta la fase de construcción y uso.

Otro hecho que explica la situación socioeconómica del área de estudio es el estado de las actuales infraestructuras de transporte. Si bien existe una tupida malla de carreteras secundarias que dan servicio a la multitud de municipios de la zona, para la directa comunicación de las localidades más grandes que se consideran, sólo hay un número reducido de vías disponibles.

En este sentido, la opción más viable, y con diferencia, es el desarrollo de la infraestructura propuesta en la Autovía Santander-Torrelavega, por sus características de diseño y capacidad de tráfico. El establecimiento de una acción de semejantes dimensiones en una carretera, que siendo de primer orden apenas tiene la capacidad y tamaño de una vía secundaria, es impensable. Se descarta, por tanto, el tender la electrificación en la Carretera Nacional N-611, tanto por su diseño, como capacidad viaria, estado del firme viario y espacio disponible para construcción, véase para ello el Cuadro 5-22.

La descripción del medio ofrece del mismo modo un detalle en cuanto al resto de infraestructuras. Esto se deriva del hecho de la intermodalidad del transporte: actualmente en Cantabria este fenómeno se cumple de forma casi simbiótica entre el transporte terrestre y el marítimo, sin embargo, es bastante pobre el transporte intermodal terrestre; apreciar los datos en el Gráfico 5-6 (hágase hincapié para comparación en la zona encuadrada) y la Tabla 5-45.

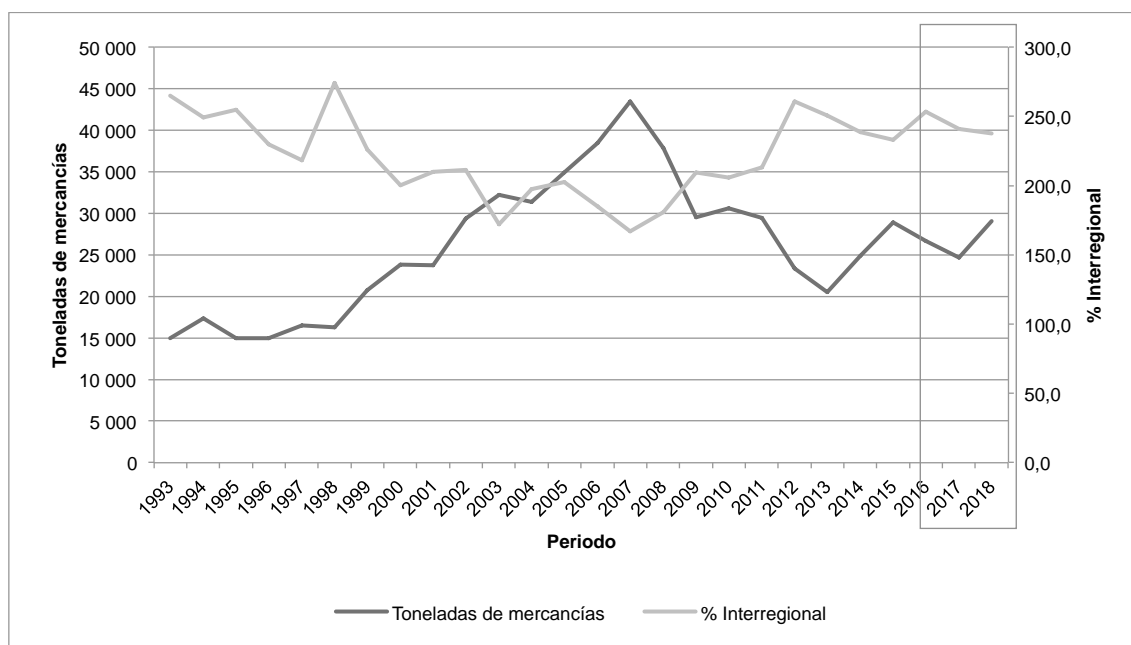


Gráfico 5-6: Movimientos de mercancías por carretera y su evolución anual.

Fuente: ICANE

Tabla 5-45: Millones de toneladas movidas por ferrocarril en Cantabria, referido al periodo 2017.

Fuente: CNMC

Origen	Toneladas	% Toneladas	Destino	Toneladas	% Toneladas
Cantabria	1,13 Mtm ³⁶	4,3	Cantabria	1,24 Mtm	4,7

Se puede observar un crecimiento a la alza del transporte de carretera en el último periodo registrado, si bien el transporte ferroviario, aunque deficitario en la región (la región vecina, Asturias, en comparación recibe 4,18 Mtm y lanza 6,63 Mtm de mercancías), supera con creces el transporte de carretera.

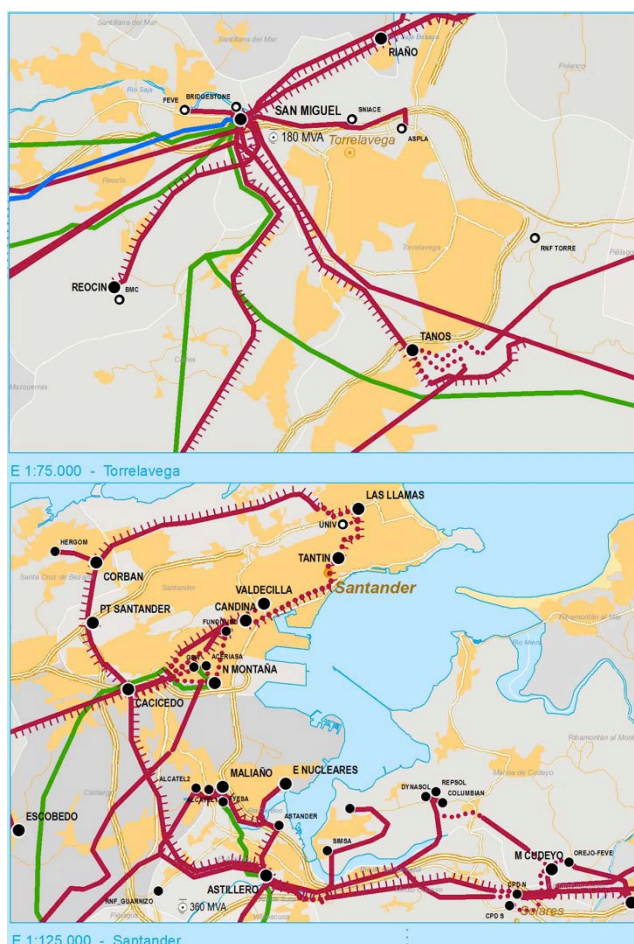
El problema del ferrocarril a la hora de considerarlo como un modo clave de transportar mercancías es su rigidez de desplazamiento. En este sentido, el camión resulta mucho más flexible, a costa de una menor capacidad unitaria y un gasto energético mayor. Es

por esta cuestión por lo que puede resultar interesante la combinación de ambas tecnologías mediante la electrificación del transporte de carretera.

Atendiendo a las necesidades de consumo energético, existe una tupida red de distribución de energía eléctrica que permite abastecer la posible demanda. Esto implica numerosos lugares donde puede hacerse un punto de suministro, tal como se puede apreciar en el Cuadro 5-23.

Un factor a tener en cuenta en el suministro es el TIEPI³⁷; Cantabria se sitúa en segunda posición en calidad de suministro, sólo por detrás de Madrid, con un tiempo de interrupción de 36,4 minutos (2017).

Con respecto a la variable medioambiental, por una parte se sitúa el clima de la región. El entorno es húmedo y lluvioso, si bien el rango de temperaturas es bastante benévolo, permitiendo que la construcción de la infraestructura y su operación posterior se lleven a cabo sin mucho obstáculo. El factor viento, si bien no muy alto en



Cuadro 5-23: Detalles de los puntos de suministro en las localidades de Torrelavega (superior) y Santander (inferior).

Fuente: Viesgo Distribución

³⁶ Millones de toneladas métricas.

³⁷ Tiempo de Interrupción Equivalente a la Potencia Instalada: medida de la continuidad del suministro eléctrico.

magnitud, ha de considerarse por su constante acción, entre los vientos del oeste y sur (Gráfico 5-5).

En relación a la hidrografía y partes del medio biótico como las Zonas de Especial Protección, la infraestructura no ofrece afecciones considerables, véase el Cuadro 5-19. Sin embargo, es necesario destacar que la zona de estudio atraviesa suelos de alta productividad, paisajes naturales y conectividad ecológica (Cuadro 5-18, Cuadro 5-20 y Cuadro 5-21). Si bien el proyecto se asienta sobre un trazado ya existente, puede considerarse realizar medidas correctivas o paliativas para minimizar un posible daño al medio natural.

6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Una vez descrita la zona de estudio (véase el capítulo 5: Descripción de la zona de estudio), junto con lo aprendido en el apartado 3: Estado del arte, se puede proceder a enumerar las diferentes alternativas que conforman el proyecto. El análisis de tales se enfoca en cuatro apartados principales (Gráfico 6-1):

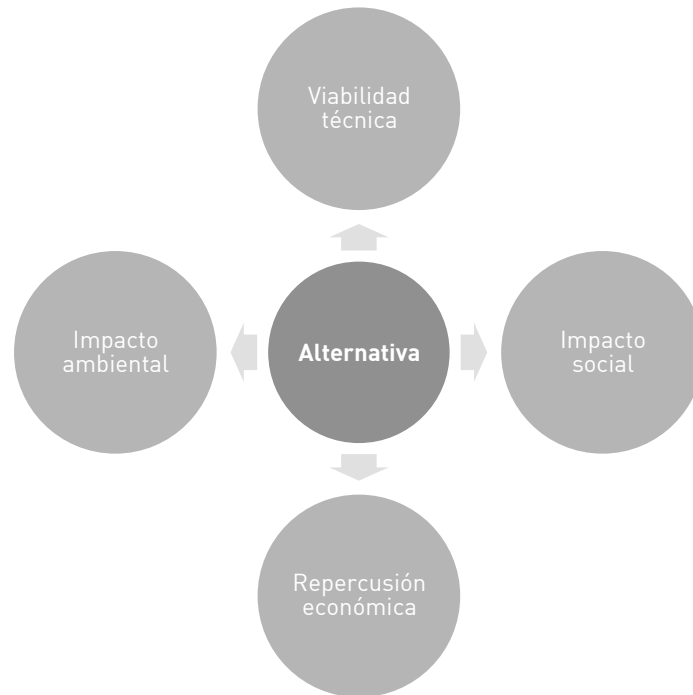


Gráfico 6-1: Estructura y enfoque del análisis de las alternativas.

(Elaboración del autor)

Para hacer un correcto análisis de las alternativas, se presupone una situación tipo para todas ellas: se considera un trayecto entre las localidades de Santander y Torrelavega, detallado en el Cuadro 6-1.

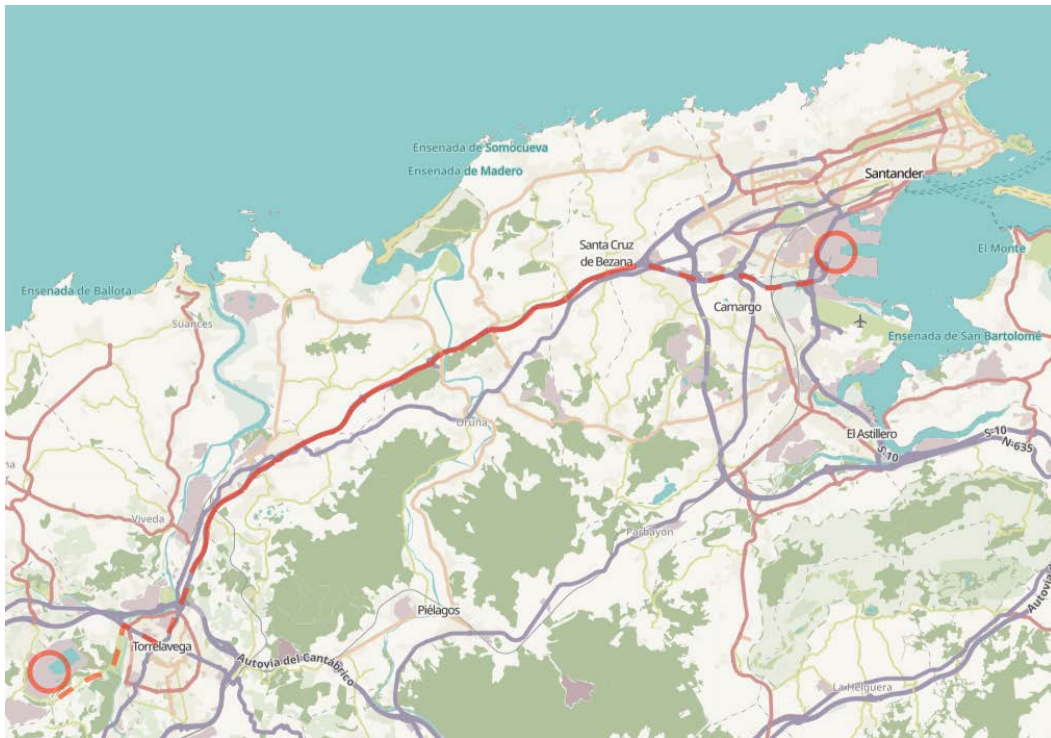
Como inicio del trayecto se define la mina de de Reocín, si bien para la descripción de la electrificación, ésta comienza en el PK 183+000, terminando en el PK 199+000, a la altura de Santa Cruz de Bezana. No obstante, el fin de trayecto se define en las instalaciones del Puerto de Santander (Gráfico 6-2). El trayecto ocupa 35 km y 35 min.

Este hecho implica que el trazado no está enteramente electrificado, habiendo partes de éste en las que el camión deberá recorrer con ayuda de una batería o motor auxiliar.



Gráfico 6-2: Esquema lineal del trazado considerado.

(Elaboración del autor)



Cuadro 6-1: Itinerario que define la situación tipo, enmarcado dentro de la zona de estudio.

En trazo discontinuo, los tramos sin electrificar. En trazo continuo, el tramo electrificado.

Fuente: OpenStreetMap

Definido el recorrido sobre el cual se sustenta el análisis, las alternativas a estudiar son:

- **Alternativa cero – sin electrificación:** supone una opción en donde el transporte se lleva a cabo con camiones tradicionales de combustión. Representa el escenario de referencia, donde no se lleva a cabo ninguna opción de electrificación.
- **Alternativa I – línea aérea de contacto:** adopta el sistema utilizado en la eHighway, con el uso de pantógrafo e hilo alimentador superior.
- **Alternativa II – conductor soterrado:** en esta situación, el elemento conductor está enclavado en el asfalto, según la tecnología diseñada por eRoad Arlanda.
- **Alternativa III – conductor por inducción:** utiliza el método PRIMOVE para la transmisión de electricidad al vehículo.

Tales alternativas serán descritas en las cuatro variables establecidas en el Gráfico 6-1, y serán confrontadas entre sí con respecto a un escenario ideal dentro de una matriz de rastreo, adjudicando una valoración numérica que servirá en capítulos posteriores para la justificación de la solución adoptada. La valoración de las alternativas se hará de acuerdo con (6-1) –véase el apartado Metodología y las ecuaciones (4-1), (4-2) y (4-3)–;

$$V_T (TOTAL) = \sum_{n=1}^n \sum_{m=1}^m v_m \cdot G_n$$

(6-1)

En donde:

V_T : valoración total. La nota máxima alcanzable es de 114 puntos.

v_m : valor de la variable m considerada. En un rango de [1, 10], siendo 1 el pésimo valor, y 10 el óptimo.

G_n : valor de la ponderación n correspondiente. Como porcentaje de un total de 100 puntos.

El análisis de alternativas tendrá en cuenta:

- **Viabilidad técnica:** indica cuán probable es de poder llevarse a cabo la alternativa, en base a criterios estrictamente técnicos, atendiendo a lo comentado en el apartado 3: Estado del arte. Este aspecto recoge los siguientes criterios:
 - *Consumo energético y emisiones:* contempla cuánta energía necesita el sistema para operar, y los contaminantes que éste expulsa.
 - *Madurez de la tecnología:* según el desarrollo de la tecnología para la propulsión del sistema.
 - *Resistencia ante inclemencias y accidentes:* en base a la capacidad de la infraestructura de aguantar accidentes de tráfico y naturales, e inclemencias climatológicas.
 - *Adaptación a la infraestructura existente:* indica el grado de adaptabilidad de la infraestructura y los elementos adjuntos propios de la alternativa dentro de la vía ya existente.
 - *Obra necesaria:* en referencia a la magnitud espacial y temporal de los trabajos precisos para la realización de la infraestructura.
 - *Escalabilidad:* propiedad de la alternativa de ser replicable en otras vías.
 - *Capacidad:* cuánto tráfico de camiones dentro de la vía es capaz de mantener la infraestructura.
- **Impacto ambiental:** expresa el potencial daño de la alternativa al entorno que le rodea, según lo comentado en el apartado 5.3: Situación medioambiental. Este punto incluye como criterios:
 - *Conservación del paisaje:* con respecto a la afección al entorno paisajístico y al medio abiótico.
 - *Conservación de la flora:* según la vegetación de la zona considerada.
 - *Conservación de la fauna:* en relación con los animales que cohabitan en el entorno.
 - *Conservación de la hidrología:* teniendo en cuenta los cursos de agua que discurren por la zona de estudio.
 - *Conservación de la conectividad territorial:* considerando la permanencia de las conexiones de desplazamiento de los seres vivos del entorno.
 - *Impacto durante la fase de diseño:* potenciales impactos predecibles en la fase de proyección de la infraestructura.
 - *Impacto durante la fase de construcción:* ídem, para la fase de obras y materialización.
 - *Impacto durante la fase de operación:* ídem, durante el periodo de uso nominal de la infraestructura.
 - *Impacto durante la fase de clausura:* ídem, referido en el periodo de desmantelamiento.

- **Impacto social:** muestra la huella que puede tener la alternativa considerada dentro de la sociedad, desde su opinión subjetiva acerca de la obra, hasta los efectos objetivos derivados de su construcción. Engloba los criterios de:
 - *Estética:* relacionado con la percepción visual de la alternativa dentro de la infraestructura ya existente.
 - *Percepción ciudadana:* comprende la aprobación de la sociedad a la construcción de la alternativa juzgada.
 - *Interés empresarial:* expresa el grado de simpatía de las empresas dentro del entorno de invertir en la alternativa.
 - *Apoyo institucional:* predicción del potencial apoyo por parte de las administraciones locales, regionales, nacionales e internacionales.
 - *Flujo de tráfico durante construcción:* determina la congestión producible durante las obras a la hora de construir la alternativa.
 - *Flujo de tráfico durante operación:* magnifica el aumento de la congestión de la alternativa considerada.
- **Repercusiones económicas:** cuantifica el esfuerzo económico y financiero necesario para la implantación de la alternativa, a partir del estado de los mercados y los diferentes agentes partícipes en el desarrollo de la infraestructura. Incluye:
 - *Inversión inicial:* capital a poner en primer lugar para fomentar e impulsar la viabilidad y realización de la alternativa considerada.
 - *Retorno de la inversión:* considera los rendimientos futuros de la inversión realizada, y la brevedad con que la inversión de la alternativa considerada retorna un beneficio.
 - *Riesgo financiero:* establece cuán arriesgado es la inversión; está relacionado con la inversión inicial y su retorno.
 - *Potencial subvención:* relativo a la susceptibilidad de organismos públicos y entes privados de aportar flujo monetario para la consecución del proyecto.
 - *Coste de obra:* representa el desembolso económico preciso para la construcción de la alternativa.
 - *Coste de operación:* cuantifica la cantidad necesaria para el desarrollo normal de la infraestructura.
 - *Coste de mantenimiento:* indica la cantidad mínima para la sostenibilidad de la alternativa, en base a diversos puntos (parque móvil, tendido, etc.).
 - *Coste de desmantelamiento:* referido al precio de la retirada y retorno al estado inicial de la infraestructura instalada.

Cada uno de los factores (viabilidad técnica, impacto ambiental, impacto social y repercusiones económicas) tiene una ponderación relativa γ_n según su relevancia dentro del proyecto, como se ve en la Tabla 6-1:

Tabla 6-1: Ponderaciones del análisis de alternativas.

(Elaboración del autor)

Factor	Viabilidad técnica	Impacto ambiental	Impacto social	Rep. económicas
Peso	30%	20%	15%	35%

6.1 ALTERNATIVA CERO

Para el desarrollo de la alternativa cero, se toma como ejemplo un camión estándar (véase Tabla 6-2); se caracterizan en él:

6.1.1 Viabilidad técnica

6.1.1.1 Consumo energético y emisiones

Para estimar el consumo de combustible:

- En el primer tramo (inicio a PK 183) el camión recorre una pendiente del 12% y un núcleo urbano. Ha de considerarse la influencia de la rampa como asistencia en la bajada y como obstáculo en el ascenso.
- Entre el PK 183 y el PK 199, la máxima pendiente es de 5,50%; se asume un trazado casi plano, para simplificar cálculos.
- Desde el PK 199 hasta puerto, la pendiente máxima es de 3,33%; se aplicará el mismo principio que el supuesto anterior. En el cómputo de combustible, se considera tanto el tramo por carretera, como el debido a las operaciones en el puerto.

De estos supuestos se deriva una tabla de consumo y emisiones (Tabla 6-3, Tabla 6-4)

Tabla 6-3: Estimaciones de consumo de combustible de la alternativa cero.

Fuente: Scania; Silvio Pinto

Tramo	Consumo [L/100]	Masa [kg]
Inicio-PK 183	34,7	39 820
PK 183-PK 199	30,3	39 820
PK 199-Puerto	26,6	39 820
Puerto-PK 199	26,1	15 000
PK 199-PK 183	12	15 000
PK 183-Inicio	40,1	15 000

Tabla 6-2: Datos rápidos del modelo utilizado en la alternativa cero.

Fuente: Scania

Scania G 450 6x4 Prime Mover	
	
Motor	
Cilindrada	12 700 cm ³ , 6 cilindros
Consumo medio	30,25 L/100 km (en cruce)
Potencia máxima	450 hp / 456 CV / 335 kW (a 1900 rpm)
Par máximo	2350 Nm (1000 a 1300 rpm)
Norma ambiental	Euro VI (1,5 g/kWh CO; 0,4 g/kWh NO _x ; 0,13 g/kWh HC)
Transmisión	
Caja de cambios	Scania GRSO905R, 14 velocidades + retarder ³⁸
Extras	
Inyección electrónica, SCR ³⁹ , dos baterías de 24 V, 0,1 kA, depósito de 700 L (+80 L urea)	
Dimensiones y masa	
(6 710×2 490×3 289)mm	
9 000 kg neto	
+ remolque de 6 t vacío; 24,8 t lleno	

³⁸ Elemento integrado de forma mecánica en la transmisión del vehículo que asiste a la frenada en pendientes pronunciadas. Se suele emplear junto con el freno motor, permitiendo una potencia de freno de hasta 900 CV. Se compone de una turbina hidráulica dentro de la caja de cambios, sirviéndose de las fuerzas de arrastre viscosas entre los álabes en giro y fijos de la turbina.

³⁹ Sistema de reducción catalítica selectiva; junto con la urea, permite la reducción de las emisiones de contaminantes.

Tabla 6-4: Estimaciones de emisiones de la alternativa cero.

Fuente: Scania; Silvio Pinto

Tramo	Consumo [g/s]	CO ₂ [g/s]	CO [mg/s]	NO _x [mg/s]
Inicio-PK 183	2,4	7,5	50,6	43,4
PK 183-PK 199	7,9	24,5	165,7	142,0
PK 199-Puerto	3,7	11,5	77,6	66,5
Puerto-PK 199	4,1	12,6	85,6	73,4
PK 199-PK 183	3,3	10,3	70,0	60,0
PK 183-Inicio	3,5	10,8	73,1	62,7

6.1.1.2 Madurez de la tecnología

El desarrollo de la técnica de los camiones basados en motores de combustión interna está prácticamente asentado, siendo los últimos avances dirigidos a la reducción de emisiones por el escape de contaminantes tales como el CO, CO₂, NO_x, entre otros.

Por otro lado, la tecnología va encaminada hacia la eficiencia en el consumo de fuel, en diversas técnicas como el retarder como freno regenerativo, el empleo de combustibles alternativos (biodiesel, HVO⁴⁰), la conducción inteligente o el platooning⁴¹.

6.1.1.3 Resistencia ante inclemencias y accidentes

La integridad del camión depende de dos aspectos primordiales ante factores climáticos e incidentes fortuitos:

- El **firme de la calzada** es la variable más afectada en malas condiciones climáticas, por la pérdida de adherencia, la escasa visibilidad de las señales y franjas viales; y en menor medida en el caso de incidentes, pues su geometría ha de estar diseñada con el objetivo de reducir la probabilidad de accidentes.
- La **construcción y los sistemas del vehículo** suponen la otra variable: en entornos adversos, como niebla, lluvia, nieve... el camión suele estar preparado, si bien su fortaleza reside en la integridad del conductor en caso de accidente, deformándose la caja y el chasis, para que junto con el resto de sistemas de seguridad ofrezcan el menor daño posible tanto al conductor como al resto de afectados en una colisión.

Estos dos aspectos se desarrollan independientemente, aunque de forma conjunta permiten reducir el riesgo durante el tránsito del camión por la calzada.

6.1.1.4 Adaptación a la infraestructura

El uso de camiones térmicos apenas requiere una actuación especial en el entorno donde vayan a moverse, pues no precisan de elementos externos para su funcionamiento. Uno de los aspectos a vigilar es el gálibo de puentes, túneles y otros pasos superiores, y el peso máximo admitido de los puentes y viaductos por los que el camión ha de trascurrir.

⁴⁰ Hydrotreated Vegetable Oil; también llamado *hidrobiodiesel*, es un biocombustible que se obtiene de la hidrogenación catalítica de grasas y aceites vegetales y animales. A diferencia del biodiesel proveniente de la esterificación, el hidrobiodiesel es compatible con los motores estándar diesel.

⁴¹ Concepto del *tren de carretera*: varios vehículos circulan de forma agrupada, reduciendo la distancia entre vehículos y siendo dirigidos al unísono, de tal modo que disminuya el arrastre y fricción aerodinámicas, resultando en un ahorro de combustible.

6.1.1.5 *Obra necesaria*

La construcción que precisa el empleo de camiones de combustión térmica es mínima en comparación con el resto de alternativas, debiendo garantizar un lugar donde alojar las unidades motrices cuando no estén en uso (garajes), zonas de reparación y mantenimiento (talleres), y el acondicionamiento de los márgenes de túneles, viaductos, pasos y puentes, si procede.

6.1.1.6 *Escalabilidad*

Se entiende este concepto como la capacidad del sistema de crecer en magnitud. La flexibilidad que ofrece un tractocamión térmico, tanto a la hora de transportar diferentes cargas, como en el modo de tener una autonomía extendida, implica un modelo de funcionamiento que se adapta tanto a desplazamientos de corta distancia como a trayectos de largo kilometraje.

6.1.1.7 *Capacidad*

Con este concepto se explica la cantidad de vehículos que puede circular por una vía determinada. En el caso de camiones estándar, esta variable sólo es dependiente de la vía por la que circulan y la disponibilidad de combustible en el trayecto.

6.1.2 **Impacto ambiental**

6.1.2.1 *Conservación del paisaje*

La conservación del entorno o paisaje, por un lado está asociada al impacto derivado de la vía por la que circula el camión. No obstante, también se relaciona con las emisiones de gases de efecto invernadero, aceites, y demás residuos que generan dichos camiones, como el dióxido de carbono, óxidos nitrosos, sustancias sulfurosas, etc., que salen de los escapes, así como las pérdidas de aceites tanto durante el funcionamiento normal del camión, como en las tareas de mantenimiento.

6.1.2.2 *Conservación de la flora*

La vegetación en las cercanías de la zona de tránsito de los camiones queda influenciada por dos factores contrapuestos. Por un lado, el más obvio se relaciona con el discurrir de los vehículos, que erosionan el terreno y hacen difícil el germinar de nuevas plantas. No obstante, la emisión de CO₂ puede producir un efecto contrario, propiciando un ambiente más próspero para aquella vegetación cercana a la zona de tránsito, pero que no se vea afectado por el tráfico de forma directa.

6.1.2.3 *Conservación de la fauna*

Uno de los mayores riesgos que puede ocasionar el empleo de camiones por una carretera radica en el cruce inesperado con animales salvajes, sobre todo en horario nocturno. Si bien la vía de tránsito objeto de estudio está cercada, impidiendo el paso a animales, no evita que aves, pequeños mamíferos, reptiles entre otros, alcancen la calzada y corran el riesgo de impacto contra un camión.

Así mismo, la posible llegada de contaminantes a los ríos y arroyos fluviales, puede causar un decrecimiento en la fauna acuática, empeorando la calidad del medio –véase el apartado anterior referido a la conservación del paisaje–.

6.1.2.4 Conservación de la hidrología

Derivado de las emisiones de los camiones, tanto en su desplazamiento como mantenimiento, existe el peligro de que estos componentes lleguen al agua –ver apartado anterior–. Ciertos contaminantes, como productos de limpieza o químicos derivados del mantenimiento de motores y demás componentes, pueden provocar, al llegar al agua, un cambio en las cualidades del medio, como oxigenación, nivel de pH, entre otras variables.

6.1.2.5 Conservación de la conectividad territorial

Si bien esta variable no está directamente relacionada con el empleo de camiones térmicos per se, sí depende de por qué vías discurre. En la zona de estudio, la autopista puede romper ciertos biomas, alterando los pasos por los que transita la fauna local. El vallado de la vía previene que los animales pasen por medio de la plataforma de paso de los vehículos, a costa de agravar la ruptura de la conectividad territorial.

Así mismo, si bien una autopista mejora el desplazamiento de personas entre dos o más puntos de alta concentración de habitantes, puede llegar a empeorar la situación de núcleos de baja densidad poblacional, si no están directamente conectados a la vía.

6.1.2.6 Impacto durante fase de diseño y construcción

Por el tipo de tecnología empleada, no se consideran impactos en estas fases, o son de mínima magnitud –rodaje de prueba de los vehículos, testeo de las instalaciones–. No se considera en estas fases las relacionadas con la construcción de la vía misma, pues su diseño no está específicamente orientado al exclusivo tránsito de los camiones.

6.1.2.7 Impacto durante fase de operación

El daño al medio provocado por el uso de tractocamiones, puede considerarse bastante grave en un periodo de tiempo prolongado. Entre estos impactos, se recogen algunos de los ya mencionados, que causan una disminución de la calidad del medio y de los seres que lo rodean. Se consideran, principalmente:

- Demanda de combustible.
- Demanda de electricidad (para instalaciones aledañas).
- Sustancias peligrosas relacionadas con el mantenimiento y uso de los camiones.
- Equipos y maquinarias auxiliares.
- Gases por escapes de fluido térmico
- Emisiones de agua contaminada.
- Ruido.
- Vibraciones.
- Derrames accidentales de aceite y gasóleo.
- Desechos metálicos y plásticos.

6.1.2.8 Impacto durante la fase de clausura

Las aflicciones al medio relacionados con este periodo incluyen aquellas actividades que se orientan a la retirada de los elementos principales y auxiliares involucrados con el uso de camiones térmicos, incluyendo la gestión de los camiones mismos al final de su vida útil, y de los emplazamientos y maquinaria anexos a su uso.

6.1.3 Impacto social

6.1.3.1 *Estética y percepción ciudadana*

Conforma un aspecto no cuantificable, pero medible de forma subjetiva. En un nivel general, el empleo de tecnologías relacionadas con motores de combustión está en parte penalizado por parte de la sociedad contemporánea al estudio, pudiéndose recoger afirmaciones como (Nelson, 2011):

- El diesel es sucio, nocivo o con hollín.
- Los motores diesel son ruidosos.
- El diesel cada vez es más caro.
- Los coches con motor diesel tienen un menor rendimiento y son lentos.
- Los motores diesel duran más.
- Los motores diesel son más económicos.
- Los motores diesel son difíciles de arrancar, especialmente en el frío.
- El uso de combustible diesel no reduce nuestra dependencia del petróleo extranjero.
- El diesel es principalmente para camiones grandes.

6.1.3.2 *Interés empresarial*

A la hora de realizar una inversión por parte de un interesado en transportar una mercancía entre dos puntos, la opción de emplear camiones térmicos resulta atractiva, debido a su flexibilidad y relativo bajo coste de adquisición, si bien en un tiempo prolongado sus costes de mantenimiento y operación pueden incrementarse. La inversión supone un bajo riesgo, al ser una tecnología madura y asentada, y las opciones de venta y asistencia son amplias en número.

6.1.3.3 *Apoyo institucional*

La adquisición de camiones fundamentados en motores de combustión no está subvencionada ni apoyada por ninguna iniciativa gubernamental. El interés por utilizar camiones térmicos convencionales para una determinada actividad económica no genera ningún provecho político o social por sí mismo.

6.1.3.4 *Flujo de tráfico durante la construcción*

La circulación de vehículos en el trazado de estudio sólo se vería afectado en aquellas zonas donde se estén edificando las instalaciones auxiliares necesarias para el funcionamiento de los tractocamiones, como garajes, almacenes, depósitos de combustible, oficinas, o adaptación de calzada en entradas y salidas de cocheras.

6.1.3.5 *Flujo de tráfico durante la operación*

Una vez establecido el sistema de transporte, el tráfico se puede ver incrementado por el tránsito de los camiones, de forma directamente proporcional al número de éstos en operación. Debido a su menor velocidad de servicio (entre 70 a 90 km/h en autovía, 30 a 40 km/h en ciudad) y su volumen ocupado en la calzada, pueden entorpecer el flujo de tráfico en aquellas zonas de alta densidad de vehículos, como intersecciones, entradas y salidas, pendientes y rotondas.

6.1.4 Repercusiones económicas

6.1.4.1 Inversión inicial

A 2019, el coste de un tractocamión puede oscilar en 100 000 EUR, comprado nuevo (en el caso del modelo estudiado, 115 000 EUR), o, si se opta a un mercado de ocasión, a un precio de 66 000 EUR. Cabe la posibilidad de una rebaja para pedidos de gran volumen.

Al coste del material móvil se le ha de sumar el precio del combustible (que ronda, a la fecha del estudio, un precio de 1,2470 EUR/L (máximo en el año 2019 de 1,4510 EUR/L, véase Gráfico 6-3)

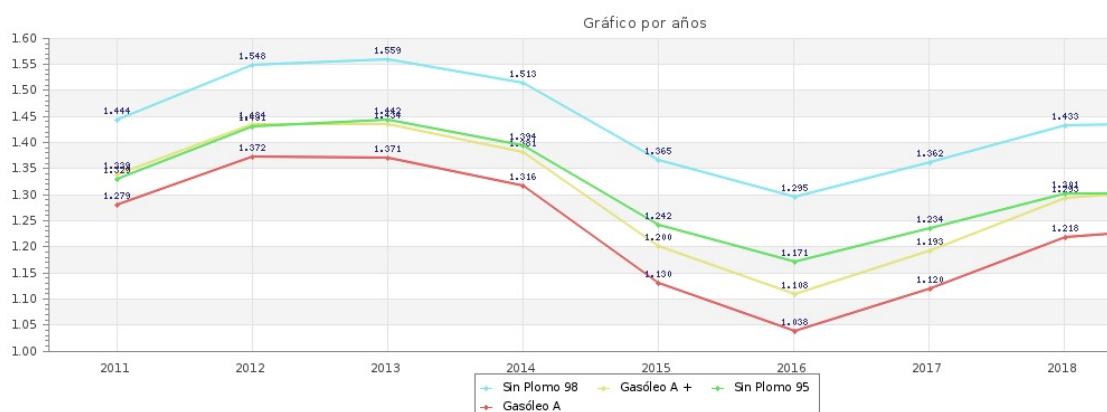


Gráfico 6-3: Evolución del precio del combustible en el periodo 2011-2018, representándose los precios medios anuales.

Fuente: Ministerio de Transición Ecológica

Por otro lado, el precio de adquisición de un remolque volquete como el descrito en la Tabla 6-2 oscilan entre los 10 000 EUR a 30 000 EUR, dependiendo del material de la caja y de la antigüedad del modelo.

Estos gastos suponen una *inversión fija*, cotizaciones de los bienes y servicios a utilizarse para la realización del proyecto. Forma parte de la infraestructura operativa del negocio; la base para comenzar la producción. Se considera *inversión* a todas las compras o adquisiciones que van a formar parte de la propiedad de la empresa a constituirse en el proyecto que se está estructurando.

Por otro lado, están las *inversiones diferidas*, definidas por su inmaterialidad, siendo derechos adquiridos y servicios necesarios para el análisis del proyecto, no están sujetos a desgaste físico. Son trabajos de investigación, gastos de organización y supervisión, puesta en marcha, administración, asistencia técnica, intereses, capacitación de personal, imprevistos, etc. Dentro de estas inversiones se encuentran los gastos operativos, organización y constitución de la empresa y capital de trabajo.

En la Tabla 6-5, se aprecia una estimación de las inversiones iniciales a realizar.

Tabla 6-5: Estimación de inversiones iniciales necesarias para la alternativa cero.

(Elaboración del autor)

Activo	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Camión Scania G 450	115 000,00 EUR	14	1 610 000,00 EUR
Volquete	30 000,00 EUR	14	420 000,00 EUR
Construcción de instalaciones	100 000,00 EUR	2	200 000,00 EUR
Maquinaria y equipo aux	32 000,00 EUR	7	224 000,00 EUR
Adecuación zona	10 000,00 EUR	5	50 000,00 EUR
Tributaciones			1 526 800,00 EUR
SRC	3 400,00 EUR	1	3 400,00 EUR
Seguro tractocamión	4 285,71 EUR	14	60 000,00 EUR
Patentes y licencias	0,00 EUR	0	0,00 EUR
SUBTOTAL			4 094 200,00 EUR
Imprevistos		5,00%	204 710,00 EUR
TOTAL			4 298 910,00 EUR

6.1.4.2 Coste de operación y mantenimiento

En los costes relativos al funcionamiento y operatividad de la alternativa estudiada, se pueden diferenciar las siguientes variables:

Por un lado, los costes de personal, divididos en los *operarios* (los conductores de los camiones y mecánicos, que perciben un salario neto de 1630 EUR mensuales), y el personal de *gestión y dirección*, un administrador que cobra 1630 EUR mensuales, y un director, con 2920 EUR mensuales).

Los gastos generados por el capital humano se aprecian en Tabla 6-6.

Tabla 6-6: Gastos necesarios en concepto de personal.

(Elaboración del autor)

Puesto	Cantidad	Gasto anual
Operario	26	50 856,00 EUR
Administrador	1	30 000,00 EUR
Director	1	55 000,00 EUR

Por otro lado, está el gasto necesario en gasóleo para alimentar los camiones. Atendiendo al criterio de consumo genérico, de 30,25 L/100 km, se consumen 21,1750 L por viaje; si en cada repostaje se llena un 90% del depósito, cada repostaje permite hacer 29,75 viajes. Por otro lado, si se hacen 18 viajes al día, en un año laboral el camión habrá hecho 4050 viajes. De esto se deduce –ver (6-2)–:

$$\left(2700 \frac{\text{viajes}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ repostaje}}{29,75 \text{ viajes}} \times 630 \frac{\text{L}}{\text{repostaje}} \times 1,25 \frac{\text{EUR}}{\text{L}} \times 14 \text{ camiones} \right) + 10\% \text{ urea} = 1\,100\,647,06 \frac{\text{EUR}}{\text{año}}$$

(6-2)

En último lugar, se sitúan los costes propios de mantenimiento. Para un vehículo articulado de carga de mineral (como es el caso de esta alternativa), los gastos de reparaciones y mantenimiento son (Tabla 6-7):

Tabla 6-7: Costes por kilómetro de mantenimiento y reparaciones

(Elaboración del autor)

Coste de mantenimiento	0,0127 EUR/km
Coste de reparaciones	0,0226 EUR/km

De acuerdo a estos datos, los costes por año serán –ver (6-3)–:

$$\begin{aligned}
 & (0,0127 + 0,0226) \frac{\text{EUR}}{\text{km}} \times 70 \frac{\text{km}}{\text{viaje}} \times 12 \frac{\text{viajes}}{\text{día}} \times 225 \frac{\text{días}}{\text{año laboral}} \times 14 \text{ camiones} \\
 & = 331\,543,80 \frac{\text{EUR}}{\text{año}}
 \end{aligned}
 \tag{6-3}$$

Se estima que el coste anual de estos gastos aumentará un 1%. A estos costes, ha de añadirse el coste de la energía requerida por el taller. Se prevé la construcción que habrá un taller, el cual costará 14 000 EUR anuales en concepto de consumo de energía.

6.1.4.3 Retorno de la inversión

Para resumir este apartado, ha de tenerse en cuenta determinadas variables:

- Los **ingresos**, se estiman en base al trayecto, los viajes computados al día, y un precio por kilómetro aproximado en base a los beneficios esperados de la actividad económica. Así, se puede enunciar que:

$$I(n) = 70 \frac{\text{km}}{\text{viaje}} \times 18 \frac{\text{viajes}}{\text{día}} \times 225 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times \mathbf{B} \frac{\text{EUR}}{\text{km}} \times 14 \text{ camiones} \times C(n)
 \tag{6-4}$$

Siendo $I(n)$ los ingresos esperados para el periodo n , \mathbf{B} el precio obtenido por kilómetro, y $C(n)$ la estimación del crecimiento de tales ingresos en ese mismo periodo.

- Para el reintegro de la inversión inicial, se estima un préstamo al 1,4% TAE de interés y cinco años a devolver, en base a los tipos de interés fijados por el Banco de España para créditos superiores a 1 MEUR, a la fecha de realización del estudio.
- Se estima que la vida útil del tractocamión expire a los seis años, y que la del remolque volquete, lo haga a los diez. Por ello, el cálculo económico se estima para una vida total de 18 años. La compra de los vehículos tractores viene con un descuento considerado del 15% sobre su valor inicial.

En la Tabla 6-8, se hace un balance económico de la alternativa considerada:

Tabla 6-8: Estimación económica de la alternativa cero

(Elaboración del autor)

Año	Ingresos	Gastos	Saldo crédito	Intereses	Amortización	Reembolso crédito	Flujo de caja	Flujo actualizado
0	4 298 910,00 EUR	4 298 910,00 EUR					-4 298 910,00 EUR	-4 298 910,00 EUR
1	3 175 200,00 EUR	1 582 046,86 EUR	4 298 910,00 EUR	60 184,74 EUR	896 227,51 EUR	836 042,77 EUR	757 110,37 EUR	749 614,23 EUR
2	3 195 937,88 EUR	1 597 867,33 EUR	3 462 867,23 EUR	48 480,14 EUR	896 227,51 EUR	847 747,37 EUR	750 323,18 EUR	735 538,85 EUR
3	3 216 811,21 EUR	1 613 846,00 EUR	2 615 119,86 EUR	36 611,68 EUR	896 227,51 EUR	859 615,84 EUR	743 349,37 EUR	721 487,58 EUR
4	3 237 820,86 EUR	1 629 984,46 EUR	1 755 504,02 EUR	24 577,06 EUR	896 227,51 EUR	871 650,46 EUR	736 185,94 EUR	707 460,22 EUR
5	3 258 967,73 EUR	1 646 284,31 EUR	883 853,56 EUR	12 373,95 EUR	896 227,51 EUR	883 853,56 EUR	728 829,86 EUR	693 456,61 EUR
6	3 280 252,72 EUR	3 371 794,59 EUR			427 960,20 EUR		-519 502,07 EUR	-489 394,45 EUR
7	3 301 676,72 EUR	1 679 374,62 EUR			427 960,20 EUR		1 194 341,90 EUR	1 113 984,25 EUR
8	3 323 240,65 EUR	1 696 168,37 EUR			427 960,20 EUR		1 199 112,08 EUR	1 107 359,89 EUR
9	3 344 945,42 EUR	1 713 130,05 EUR			427 960,20 EUR		1 203 855,16 EUR	1 100 732,72 EUR
10	3 366 791,94 EUR	2 194 202,64 EUR			352 602,91 EUR		819 986,39 EUR	742 322,98 EUR
11	3 388 781,15 EUR	1 747 563,96 EUR			352 602,91 EUR		1 288 614,27 EUR	1 155 015,54 EUR
12	3 410 913,97 EUR	3 579 227,90 EUR			371 204,43 EUR		-539 518,36 EUR	-478 795,15 EUR
13	3 433 191,35 EUR	1 782 690,00 EUR			371 204,43 EUR		1 279 296,92 EUR	1 124 070,36 EUR
14	3 455 614,23 EUR	1 800 516,90 EUR			371 204,43 EUR		1 283 892,89 EUR	1 116 939,28 EUR
15	3 478 183,55 EUR	1 818 522,07 EUR			371 204,43 EUR		1 288 457,05 EUR	1 109 811,80 EUR
16	3 500 900,28 EUR	1 836 707,29 EUR			371 204,43 EUR		1 292 988,56 EUR	1 102 688,14 EUR
17	3 523 765,38 EUR	1 855 074,36 EUR			371 204,43 EUR		1 297 486,58 EUR	1 095 568,46 EUR
							VAN	7 322 024,66 EUR
	Riesgo	7%					TIR	15%
	Inflación	1%						
	TREMA	8,07%					Relación BC	1,46

6.1.4.4 Potencial subvención

Por la naturaleza de la alternativa, no existen ayudas previsibles para la compra de nuevos vehículos de combustión interna. Los únicos descuentos posibles son por parte del concesionario vendedor, según un porcentaje variable al volumen. Debido a su variabilidad, no se han tenido en cuenta en el estudio económico de la alternativa.

6.1.4.5 Riesgo financiero

De acuerdo con la Tabla 6-8, el VAN y el TIR⁴² ofrecen unos resultados positivos, con lo que se establece un beneficio para el inversor. De acuerdo con la TREMA⁴³, el proyecto es viable, en tanto que el TIR de la alternativa es superior a dicha tasa mínima. El cálculo de dicha tasa se hace en base a un *riesgo medio* (7%, proyecto con demanda variable y competencia posible).

Para poder determinar la aceptación del proyecto, se recurre a estos indicadores, de forma que se decida de un modo objetivo la conveniencia de la realización de cada alternativa estudiada, en el modo en el que se ilustra en las ecuaciones (6-5) y (6-6):

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (6-5)$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (6-6)$$

en donde:

VAN: Valor Actual Neto; mide la rentabilidad del proyecto en valor monetario deducida la inversión, actualizando a una tasa de descuento entre propuestas excluyentes.

V_t : flujo de caja en cada periodo t considerado.

I_0 : valor del desembolso de la inversión inicial.

k : tipo de interés considerado en la alternativa estudiada.

TIR: Tasa Interna de Retorno; medida de la rentabilidad como porcentaje, sobre los saldos no recuperados por periodo, en donde el VAN sea nulo.

Un proyecto será aceptado si cumple que:

- a) VAN > 0 b) si VAN > 0; TIR > TREMA**

⁴² La Tasa Interna de Retorno y el Valor Actual Neto son indicadores económicos utilizados en la estimación de la rentabilidad de un proyecto.

⁴³ Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable: es un valor que permite discernir entre la conveniencia de invertir en un proyecto, o su rechazo, en base al riesgo asumible y la inflación esperada de la economía.

6.2 ALTERNATIVA I

En el desarrollo de esta alternativa, se emplea un camión de naturaleza híbrida, lo más semejante al tractocamión de la alternativa cero: en la Tabla 6-9, se especifican los datos más relevantes.

6.2.1 Viabilidad técnica

6.2.1.1 Consumo energético y emisiones

El fundamento de la Alternativa I se basa en un hilo conductor por encima de la calzada que porta electricidad, alimentando el camión, sin tener que usar su motor térmico.

Según el Gráfico 6-2, sólo el tramo entre los PK 183 y 199 está electrificado, de tal modo que en las zonas hacia el inicio y el puerto, el camión sólo tiene el motor térmico o las baterías como fuente de energía propulsora.

A partir de las características del trazado, se puede definir un consumo tal que:

Tabla 6-10: Estimaciones de consumo energético de la Alternativa I.

(Elaboración del autor)


Tramo	Consumo [kWh/km]	Masa [kg]
Inicio-PK 183	1,4	38 300
PK 183-PK 199	1,3	38 300
PK 199-Puerto	1,1	39 820
Puerto-PK 199	1,3	13 500
PK 199-PK 183	1,1	13 500
PK 183-Inicio	2	13 500

Para la estimación de los consumos de energía, se parte del conocimiento de que el prototipo comentado en el apartado 3.2.1.2 Desarrollo: proyecto ENUBA, eHighway y ELISA posee unas demandas de 1,3 kWh/km en cruce, 2,24 kWh/km a máxima potencia, y un aporte energético a la red de hasta el 40% del consumo en freno regenerativo (BMU, 2016).

En los recorridos de descenso en los tramos Inicio-PK 183, y PK 199-Puerto, esta energía puede ser almacenada en la batería incorporada en el tractocamión, ampliando la autonomía bajo tramos sin electrificar de éste.

Tabla 6-9: Datos rápidos del modelo utilizado en la Alternativa I.

Fuente: Scania

Scania R 450 A4x2NB Hybrid	
	
Motor térmico	
Cilindrada	12 742 cm ³ , 6 cilindros
Consumo medio	28,43 L/100 km (en cruce)
Potencia máxima	442 hp / 448 CV / 330 kW (a 1900 rpm)
Par máximo	2350 Nm (1000 a 1300 rpm)
Norma ambiental	Euro VI (1,5 g/kWh CO; 0,4 g/kWh NO _x ; 0,13 g/kWh HC)
Motor eléctrico	
Potencia nominal/máxima	50/150 kW
Transmisión	
Caja de cambios	Scania GRS905R, 14 velocidades
Extras	
Inyección electrónica, SCR, dos baterías de 24 V, 0,1 kA, depósito de 400 L (estimación, biodiesel), batería principal de ion-Li ⁺ de 15 kWh,	
Dimensiones y masa	
(6 710×2 490×3 289)mm 7 500 kg neto + remolque de 6 t vacío; 24,8 t lleno	

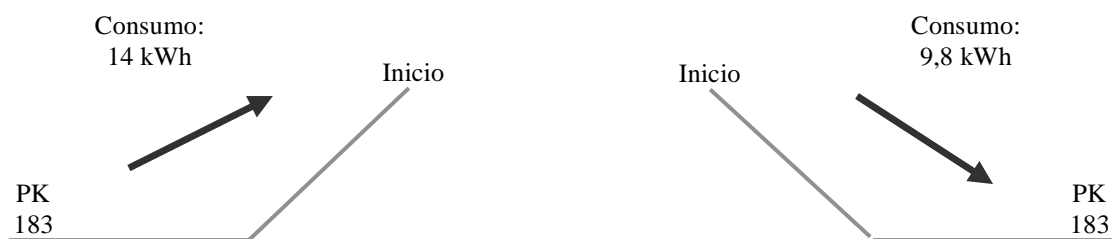


Gráfico 6-4: Problemática del reparto energético en el tramo Inicio-PK 183.

Suponiendo que en el inicio no existe recarga de la batería, su capacidad no es suficiente para abastecer por sí sola la propulsión necesaria del vehículo.

(Elaboración del autor)

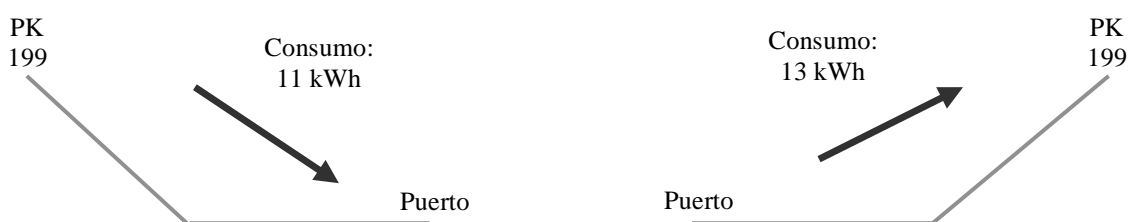


Gráfico 6-5: Problemática del reparto energético en el tramo PK 199-Puerto.

Suponiendo que en el final no existe recarga de la batería, su capacidad tampoco es suficiente para abastecer por sí sola la propulsión necesaria del vehículo..

(Elaboración del autor)

De lo que se deriva en lo ilustrados en el Gráfico 6-4 y Gráfico 6-5, la batería no es suficiente para abastecer la necesidad energética del vehículo. Por ello, el motor térmico debe funcionar de forma auxiliar hasta la recarga en el tramo electrificado Por el uso de este motor, se desprenden las siguientes emisiones:

Tabla 6-11: Estimaciones de emisiones de la Alternativa I.

(Elaboración del autor)

Tramo	Consumo [g/s] ⁴⁴	CO ₂ [g/s]	CO [mg/s]	NO _x [mg/s]
Inicio-PK 183	2,5	7,5	25,3	47,7
PK 183-PK 199	0	0	0	0
PK 199-Puerto	0	0	0	0
Puerto-PK 199	4,3	12,6	42,8	80,7
PK 199-PK 183	0	0	0	0
PK 183-Inicio	0	0	0	0

Se observa en la Tabla 6-11 una reducción en las emisiones de monóxido de carbono, si bien las de dióxido de carbono se mantienen constantes, e incluso se aprecia un incremento de los óxidos de nitrógeno. Esto se explica según el Gráfico 6-6.

⁴⁴ Referido al uso del biodiesel del depósito

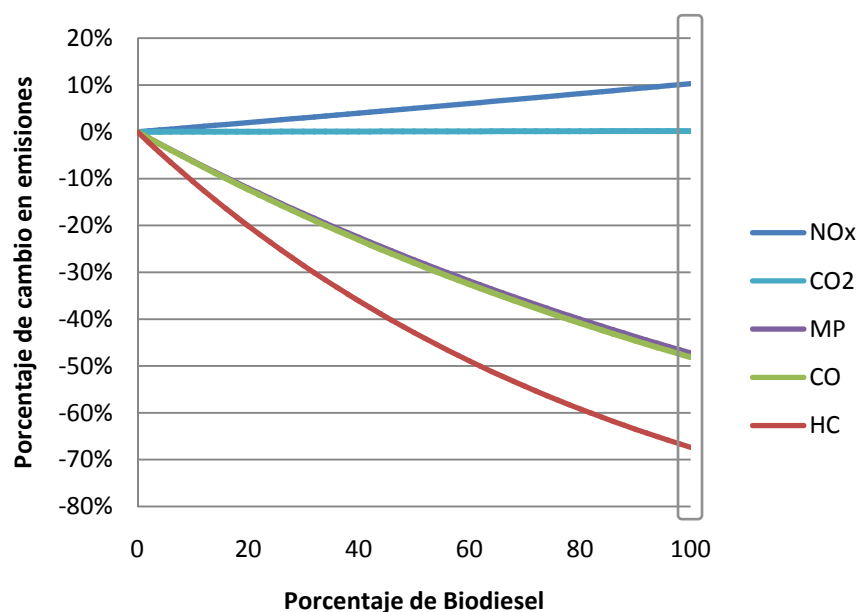


Gráfico 6-6: Variaciones en las emisiones a partir del porcentaje de biodiesel.

Fuente: Paz-Isabel Araya

6.2.1.2 Madurez de la tecnología

El sistema sobre el que se basa esta alternativa se remonta al siglo XIX, con la aparición del trolebús (ver para más detalle el apartado 3.1 Historia de la electrificación del transporte pesado: desde el siglo xix hasta el xxi); existe amplia experiencia así mismo con el desarrollo de la asistencia por trole en las minas (3.1.3 Segunda mitad del siglo XX: sistema de asistencia por trole). Sin embargo, el uso de camiones híbridos para carga general es de aparición reciente, empezando su comercialización a principios del siglo XXI, con vehículos de pequeño tamaño, y con el uso exclusivo de baterías más motor de combustión. En el uso de colectores aéreos en camiones, la conjunción de la técnica previa con los avances actuales permite un desarrollo tal que permite su puesta en práctica bajo condiciones reales.

6.2.1.3 Resistencia ante inclemencias y accidentes

Los obstáculos a los que tiene que hacer frente la Alternativa I son los mismos que los comentados en el apartado 6.1.1.3, con un componente extra: la **infraestructura eléctrica**. Ésta tiene que hacer frente a riesgos como:

- Sobretensiones y sobreintensidades de la línea.
- Defectos a tierra.
- Descargas eléctricas atmosféricas.
- Cortes de la línea.
- Impactos por causa natural o accidente viario.
- Corrosión y desgaste del conductor y soportes.

Ante nieve o agua, el sistema continúa proporcionando energía al vehículo. El mayor riesgo ocurre al formarse hielo en el hilo conductor, creando arcos eléctricos entre éste y el colector. En relación con los sistemas del vehículo, la automatización parcial de los procesos de conducción reduce las posibilidades de accidente.

6.2.1.4 Adaptación a la infraestructura

Para ejecutar la alternativa, se debe instalar:

- **Subestaciones y sistemas de control:** elemento indispensable para la adecuación de los valores de tensión, intensidad y forma de la red hacia la catenaria. Aparte, un sistema de control monitoriza los flujos de energía entre el sistema eléctrico y los vehículos.
- **Línea de reparto y catenaria:** la primera es la conducción eléctrica entre la subestación transformadora y la catenaria. A través de unos alimentadores, proporciona energía a la línea aérea de contacto (feeder). Tanto la línea de contacto como los soportes (ménsulas) definen el sistema de la catenaria.
- **Pantógrafo:** este sistema es el encargado de absorber la corriente de la línea, y proporcionar la energía al motor eléctrico del camión. Es un equipo adosado al propio vehículo, de naturaleza modular y adaptable.
- **Sistemas de protección:** incluye la instalación de guardarraíles y la adecuación de las zonas donde vayan a instalarse las subestaciones y los elementos de soporte de la catenaria, que protejan estos elementos y a los usuarios en caso de accidente.



Cuadro 6-2: Elementos a añadir a la infraestructura existente de la Alternativa I.

Izquierda, superior: subestación rectificadora aledaña, con sistemas de monitoreo y control de potencia.

Izquierda, inferior: pantógrafo colector, instalado como módulo a un camión remotorizado.

Derecha, superior: instalación de la catenaria, con las ménsulas colocadas, encauzando el conductor.

Derecha, inferior: colocación de los elementos de protección, como el guardarraíles y señales de límite de velocidad.

Fuente: Siemens, BMU

6.2.1.5 Obra necesaria

Por una parte, se han de garantizar los elementos nombrados en 6.1.1.5, edificándose garajes, talleres, adecuación de viales, etcétera. Así mismo, también ha de construirse los elementos detallados en el apartado anterior, precisándose de movimientos de tierra y alteraciones en la calzada puntuales, para establecer los cimientos de las subestaciones y las ménsulas, e instalar los conductores en éstas mismas.

6.2.1.6 Escalabilidad

De los proyectos ENUBA 1 y 2, ELISA, y las experiencias en Gävle, Hesse y Los Ángeles, se demuestra que la portabilidad de esta alternativa a otros escenarios es posible, y que sus rendimientos son mejores de lo esperado inicialmente. Si bien la alternativa requiere un gran esfuerzo inicial para su construcción, el desarrollo de ésta durante su fase de operación verifica y devuelve la inversión realizada, permitiendo ofrecerse como una alternativa al uso de camiones térmicos convencionales, sobre todo en zonas de puerto, transporte de mineral, y de mercancías a larga distancia.

6.2.1.7 Capacidad

Las subestaciones de la alternativa, en los proyectos considerados, son capaces de proporcionar una potencia de hasta 4 MW. Esto permite abastecer de forma suficiente la flota considerada en la alternativa cero en los tramos electrificados.

La capacidad del sistema viene determinada pues como una función de la potencia eléctrica suministrada por las subestaciones, al margen de otras variables como el tráfico o las características de la vía.

Fuera de los tramos electrificados, la capacidad es función exclusiva de la energía que portan los camiones, tanto en forma química dentro de las baterías, como en forma de combustible en los depósitos de biodiesel.

6.2.2 Impacto ambiental

6.2.2.1 Conservación del paisaje

Del mismo modo que el apartado homónimo de la alternativa cero, la conservación del paisaje es una variable dependiente de la vía por la que circula el camión. Aunque también existe la probabilidad de emisiones de aceites y residuos sólidos, derivados del mantenimiento del parque móvil, la reducción de las emisiones de gases contaminantes supone un aumento de la calidad de vida dentro del bioma considerado en la zona de estudio.

No obstante, ha de prestarse cuidado con los riesgos que pueden suponer las fugas accidentales de los componentes de las baterías y piezas electrónicas que portan los vehículos, basados en elementos como tierras raras, o materiales susceptibles de incendio, como el litio. La infraestructura eléctrica puede suponer una alteración del paisaje, principalmente visual, pero también puede afectar a éste en su construcción

6.2.2.2 Conservación de la flora

El tránsito de los vehículos puede provocar una erosión de la vegetación más cercana a la vía de paso, disminuyendo la calidad de la flora aledaña. Las emisiones provocadas de dióxido de carbono no favorecen un crecimiento de la vegetación, y la edificación de

elementos constitutivos puede restar suelo útil para la flora, pero también, si se emplean los materiales empleados en otros proyectos con esta alternativa, cabe la posibilidad de generar un lugar propicio para el crecimiento de vegetación en las paredes, techos, y cercanías de la infraestructura.

6.2.2.3 Conservación de la fauna

Como en la alternativa cero, el riesgo más peligroso radica en el cruce inesperado de animales salvajes a través de la vía, que puede desembocar en un arrollamiento. Este hecho puede mitigarse gracias a la automatización parcial del vehículo, posible con el sistema modular de electrificación, permitiendo una anticipación a la respuesta ante un accidente, y reduciendo las posibilidades de un impacto fatal para ambas partes.

Otro peligro puede considerarse en los elementos eléctricos de la línea. Por un lado, la corriente continua del hilo conductor puede provocar daño al hacer contacto directo o indirecto⁴⁵ con éste. Aparte, en las subestaciones rectificadoras, la corriente alterna de las líneas de transporte puede generar un campo electromagnético susceptible de alterar a animales (aves, mamíferos, entre otros) sensibles a dichos campos.

6.2.2.4 Conservación de la hidrología

Los daños a la hidrología pueden provenir, como se explicó en el apartado homónimo de la alternativa cero, de los productos de limpieza, aceites, residuos sólidos, etcétera, que alcancen los cursos hídricos. Asimismo, el movimiento de tierras correspondiente para la instalación de los elementos constructivos, puede alterar la hidrología de la zona.

6.2.2.5 Conservación de la conectividad territorial

La instalación de una infraestructura eléctrica puede provocar una ruptura en los tránsitos de animales, si no se consigue una correcta adecuación de ésta al paisaje, resultando en un posible elemento extraño que cause un rechazo por parte de la fauna, modificando las rutas por las que ésta discurre para sus hábitos alimentarios o reproductivos.

6.2.2.6 Impacto durante fase de diseño

En esta fase, se contempla la caracterización del terreno y de la vía, la estimación de la posición y construcción de los elementos constructivos, y el testeo de los vehículos previo a su funcionamiento nominal. El impacto resultante puede considerarse poco significativo.

6.2.2.7 Impacto durante fase de construcción

La edificación de las instalaciones de uso habitual, de la infraestructura eléctrica, y de los elementos de seguridad y protección, pueden precisar un movimiento de tierras, actuación en la calzada, alteración de los cursos de agua, emisiones de ruido, alteración del tráfico, ocupación y pérdida de suelos, impactos visuales, cambios puntuales en la morfología del terreno, principalmente.

⁴⁵ El *contacto directo* sucede cuando una persona o animal toca un conductor activo; esto es, que porta corriente de forma habitual. Un *contacto indirecto* es aquél que ocurre cuando un elemento que se supone inerte (que no está cargado eléctricamente) está bajo tensión, debido a un fallo de aislamiento.

6.2.2.8 Impacto durante fase de operación

En esta fase, el impacto tanto a corto como largo plazo se considera menor en esta alternativa que en la anterior, en gran manera debido a la reducción de emisiones, el menor ruido producido, o la gestión semiautomatizada de la conducción de los vehículos. Sin embargo, sí cabe lugar a impactos negativos, correspondientes a:

- Demanda de electricidad para la alimentación y recarga de los camiones.
- Sustancias peligrosas relacionadas con el mantenimiento y uso de éstos.
- Emisiones accidentales de elementos dañinos (aceites, litio, etcétera).
- Desechos metálicos y plásticos.
- Emisiones de ruido y gases puntuales, bajo una conducción no eléctrica.

6.2.2.9 Impacto durante fase de clausura

Estos impactos están relacionados principalmente con la retirada de los elementos constitutivos de la infraestructura eléctrica, como soportes, hilo conductor y subestaciones, que pueden conllevar movimiento de tierras, ruido, y afecciones semejantes a los considerados en la fase de construcción. Debe asegurarse un retorno a la situación previa, si posible, devolviendo la morfología del terreno, flora y fauna perdidas en las fases anteriores.

6.2.3 Impacto social

6.2.3.1 Estética y percepción ciudadana

Los apartados considerados son de naturaleza contradictoria; si se atiende al criterio de la estética, el impacto visual provocado por la infraestructura eléctrica y el uso de camiones con un colector de gran tamaño puede causar un rechazo inicial, que es subsanable con el paso del tiempo, si se elige un diseño atractivo que suscite en el individuo ideas de *progreso*, *cero-emisiones*, *avance*. De lo contrario, es posible que se despierten las ideas de *anticuado*, *trolebús*, *tecnología obsoleta*, entre otras.

Por otro lado, la percepción ciudadana acerca del uso de vehículos eléctricos es más positiva, si bien también existen comentarios que cuestionan la conveniencia de utilizar tanto energía eléctrica, como en el modo de obtenerla. Se obtienen reseñas como:

- La energía eléctrica es más limpia.
- No hace ruido.
- No contamina.
- Los vehículos eléctricos son más baratos de mantener.
- Los vehículos eléctricos ayudan a combatir el cambio climático.
- El uso de electricidad en los coches resulta innovador.
- La electricidad puede ser la solución al petróleo.
- El uso de electricidad en los vehículos pesados ya existía (trolebús).
- No existe capacidad energética para abastecer a todos los vehículos.
- Los camiones eléctricos son feos.
- La electricidad en los cables puede ser peligrosa en caso de accidente.
- Ocupar un carril para vehículos eléctricos disminuye la capacidad de las autopistas.
- Un vehículo eléctrico es más caro y tiene menos autonomía.

6.2.3.2 *Interés empresarial*

La opción de utilizar camiones como los considerados en la Alternativa I es cada vez más creciente, sobre todo cuando existe un apoyo financiero por parte del gobierno, y los fabricantes se involucran directamente en el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura. Esta creciente positiva percepción se atribuye también a un menor precio en la adquisición de estos vehículos, y en el ahorro de los costes de combustible y mantenimiento.

6.2.3.3 *Apoyo institucional*

De las experiencias en Gävle y Hesse, se observa que los agentes gubernamentales son parte activa e importante en el desarrollo de una iniciativa de esta naturaleza, al ser por una parte inversores del proyecto en gran medida, y por otro receptores de los resultados que el proyecto genera; en caso de éxito, el proyecto puede servir como impulso para el apoyo por parte de la sociedad al gobierno en turno.

En el caso de la zona de estudio considerada, existe un apoyo moderado por el uso de energías alternativas y renovables en vehículos, que puede ser aumentado por el hecho de generar empleo en base a la estimulación de una actividad económica de gran peso como representa la reactivación de la economía minera.

6.2.3.4 *Flujo de tráfico durante la construcción*

La instalación del equipamiento eléctrico constituye el mayor obstáculo para el tráfico, si bien puede realizarse los trabajos necesarios de tal modo que se limite parte de un carril, sin ocuparlo por completo. Pueden provocarse atascos en horas punta, por lo que se torna necesario realizar los trabajos en momentos valle, o en horario nocturno.

6.2.3.5 *Flujo de tráfico durante la operación*

El flujo de vehículos puede verse afectado por el tránsito de camiones a velocidades menores a la nominal en la vía (como en la alternativa cero, éstos circulan entre 70 a 90 km/h en autovía, y 30 a 40 km/h en entorno urbano). No obstante, si se instala un sistema de conducción semiautónomo, puede aminorarse el impacto del tránsito de estos vehículos en la vía, con unas aceleraciones y frenadas más suaves, evitando un efecto acordeón⁴⁶.

6.2.4 **Repercusiones económicas**

6.2.4.1 *Inversión inicial*

El tractocamión considerado tiene un coste de salida de 98 000 EUR, al que se le debe añadir el precio de la conversión híbrida, estimado en 35 500 EUR. En total, una unidad acarrea unos 133 500 EUR. De igual modo que en la alternativa cero, también se ha de considerar el precio de los remolques volquetes, que se mantiene invariable, con un coste de 10 000 a 30 000 EUR.

⁴⁶ Este efecto surge por una deceleración súbita de un vehículo en un flujo constante. Esto provoca que los coches que siguen al vehículo que aminora vayan frenando. La distancia entre ellos se va reduciendo hasta que uno acaba por detenerse por completo. A partir de ahí, el resto se ven forzados a parar y se hace patente el atasco. El mismo efecto tiene lugar a la inversa: cuando el primero empieza a moverse, la columna de vehículos se estira como un acordeón. El segundo coche arranca un instante más tarde, el tercero dos instantes después, y así hasta el último, que se pondrá en movimiento minutos después de que el primero haya arrancado.

Aparte del coste del vehículo, de los remolques, y de los gastos considerados en la alternativa cero, el gasto más notable se relaciona con la construcción de la infraestructura eléctrica. De los datos inferidos de los proyectos en los que se considera esta tecnología, ajustados a la situación actual, se puede estimar un coste global de 1,1 MEUR/km. Para el trazado PK 183-PK 199, se traduce en una inversión inicial de 18 MEUR.

Tabla 6-12: Estimación de inversiones iniciales necesarias para la Alternativa I.

(Elaboración del autor)

Activo	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Camión Scania R 450 NB	133 500,00 EUR	14	1 869 000,00 EUR
Volquete	30 000,00 EUR	14	420 000,00 EUR
Construcción de instalaciones	100 000,00 EUR	2	200 000,00 EUR
Maquinaria y equipo aux	32 000,00 EUR	7	224 000,00 EUR
Adecuación zona	10 000,00 EUR	5	50 000,00 EUR
Tributaciones			1 682 200,00 EUR
SRC	3 700,00 EUR	1	3 700,00 EUR
Seguro tractocamión	5 700,00 EUR	14	79 800,00 EUR
Patentes y licencias	0,00 EUR	0	0,00 EUR
SUBTOTAL			4 528 700,00 EUR
Imprevistos		5,00%	226 435,00 EUR
Contribución a infraestructura			13 471 300,00 EUR
Total			18 226 435,00 EUR

6.2.4.2 Coste de operación y mantenimiento

Por una parte, se mantiene constante el gasto en personal necesario para la infraestructura, componiéndose el equipo de 26 operarios, un administrador y un director (véase Tabla 6-6 para desglose). Por otro lado, se ha de considerar el gasto en energía necesario para la propulsión de los vehículos: si el camión gasta 6,09 L/viaje, reposta el 90% de la cantidad del depósito, y suponiendo un coste de 0,8910 EUR/L de biodiesel B100:

$$\begin{aligned}
 & 2700 \frac{\text{viajes}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ repostaje}}{59,1 \text{ viajes}} \times 360 \frac{L}{\text{repostaje}} \times 0,8910 \frac{\text{EUR}}{L} \times 14 \text{ camiones} \\
 & = 205\,156,14 \frac{\text{EUR}}{\text{año}}
 \end{aligned}$$

(6-7)

A este coste, ha de sumarse el necesario para la recarga de las baterías del vehículo en la autopista eléctrica. Seleccionando la tarifa 6.2, en base a la Tabla 5-39, se infiere un coste eléctrico anual de 125 536,23 EUR.

Acerca del mantenimiento de la alternativa, han de entenderse dos variables: el cuidado relativo al tractocamión, y la manutención asociada a la línea eléctrica. Referido al primero, el coste de mantenimiento se reduce con respecto al de la alternativa cero, deduciéndose los siguientes gastos por kilómetro (Tabla 6-13):

Tabla 6-13: Costes por kilómetro de mantenimiento y reparaciones de la Alternativa I.

(Elaboración del autor)

Coste de mantenimiento	0,0058 EUR/km
Coste de reparaciones	0,0226 EUR/km

La línea eléctrica y sus soportes precisan un cuidado, destinándose un 33% de los gastos en el apartado *imprevistos* de la Tabla 6-12. El coste anual de todas las cuantías crecerá un 1% anual.

6.2.4.3 Retorno de la inversión

Para este apartado, se tiene en consideración los comentarios apreciados en 6.1.4.3. En la Tabla 6-14 se hace un desglose de la estimación económica de la Alternativa I.

6.2.4.4 Potencial subvención

En base a los proyectos llevados a cabo en Alemania y Suecia, la construcción de una infraestructura de semejante envergadura requiere un impulso por parte de capital público: en estos dos países, la instalación de la aparamenta eléctrica ha sido financiada en su completa magnitud por parte de los ministerios correspondientes, los gobiernos locales y regionales, y las administraciones de tráfico, en colaboración con las empresas fundadoras del proyecto. En el cálculo de flujos de caja, se considera una subvención en la inversión inicial del 50%

6.2.4.5 Riesgo financiero

Los indicadores económicos de la alternativa determinan que su ejecución resulta viable. Asumiendo el mismo riesgo que para la alternativa cero, se aprecia un VAN mayor que el de ésta, pero una tasa de retorno bastante menor, debido a la fuerte inversión inicial necesaria para el proyecto. En base a lo dispuesto por el indicador beneficio-coste, la Alternativa I tiene una relación BC mayor que su comparativa anterior.

Tabla 6-14: Estimación económica de la Alternativa I


(Elaboración del autor)

Año	Ingresos	Gastos	Saldo crédito	Intereses	Amortización	Reembolso crédito	Flujo de caja	Flujo actualizado
0	9 113 217,50 EUR	9 113 217,50 EUR					-9 113 217,50 EUR	-9 113 217,50 EUR
1	3 175 200,00 EUR	616 418,32 EUR	9 113 217,50 EUR	127 585,05 EUR	1 899 903,99 EUR	1 772 318,94 EUR	786 462,74 EUR	778 675,98 EUR
2	3 195 937,88 EUR	622 582,50 EUR	7 340 898,56 EUR	102 772,58 EUR	1 899 903,99 EUR	1 797 131,41 EUR	776 223,97 EUR	760 929,29 EUR
3	3 216 811,21 EUR	628 808,33 EUR	5 543 767,15 EUR	77 612,74 EUR	1 899 903,99 EUR	1 822 291,25 EUR	765 711,63 EUR	743 192,17 EUR
4	3 237 820,86 EUR	635 096,41 EUR	3 721 475,90 EUR	52 100,66 EUR	1 899 903,99 EUR	1 847 803,33 EUR	754 921,13 EUR	725 464,36 EUR
5	3 258 967,73 EUR	641 447,37 EUR	1 873 672,57 EUR	26 231,42 EUR	1 899 903,99 EUR	1 873 672,57 EUR	743 847,79 EUR	707 745,65 EUR
6	3 280 252,72 EUR	2 631 843,01 EUR			476 601,48 EUR		171 808,23 EUR	161 851,12 EUR
7	3 301 676,72 EUR	654 340,47 EUR			476 601,48 EUR		2 170 734,77 EUR	2 024 683,52 EUR
8	3 323 240,65 EUR	660 883,87 EUR			476 601,48 EUR		2 185 755,30 EUR	2 018 508,35 EUR
9	3 344 945,42 EUR	667 492,71 EUR			476 601,48 EUR		2 200 851,22 EUR	2 012 325,92 EUR
10	3 366 791,94 EUR	1 138 108,93 EUR			401 244,19 EUR		1 827 438,82 EUR	1 654 356,52 EUR
11	3 388 781,15 EUR	680 909,31 EUR			401 244,19 EUR		2 306 627,64 EUR	2 067 485,07 EUR
12	3 410 913,97 EUR	2 793 754,39 EUR			422 838,13 EUR		194 321,45 EUR	172 450,42 EUR
13	3 433 191,35 EUR	694 595,59 EUR			422 838,13 EUR		2 315 757,63 EUR	2 034 769,62 EUR
14	3 455 614,23 EUR	701 541,55 EUR			422 838,13 EUR		2 331 234,55 EUR	2 028 087,73 EUR
15	3 478 183,55 EUR	708 556,96 EUR			422 838,13 EUR		2 346 788,46 EUR	2 021 405,01 EUR
16	3 500 900,28 EUR	715 642,53 EUR			422 838,13 EUR		2 362 419,62 EUR	2 014 721,68 EUR
17	3 523 765,38 EUR	722 798,96 EUR			422 838,13 EUR		2 378 128,29 EUR	2 008 037,99 EUR
							VAN	11 428 295,80 EUR
	Riesgo	7%					TIR	11%
	Inflación	1%						
	TREMA	8,07%					Relación BC	2,37

6.3 ALTERNATIVA II

Tabla 6-15: Datos rápidos del modelo utilizado en la Alternativa II.

Fuente: Volvo; Oscar Olsson

Volvo FH12 500 4×2	
	
Motor térmico	
Cilindrada	12 800 cm ³ , 6 cilindros
Consumo medio	32,46 L/100 km (en cruce)
Potencia máxima	500 hp / 507 CV / 368 kW (a 1900 rpm)
Par máximo	2500 Nm (1050 a 1400 rpm)
Norma ambiental	Euro IV (1,5 g/kWh CO; 3,5 g/kWh NO _x ; 0,46 g/kWh HC)
Motor eléctrico	
Potencia nominal/máxima	120 kW
Transmisión	
Caja de cambios	Volvo AT2612F I-Shift, 16 velocidades
Extras	
Inyección electrónica, dos baterías de 24 V, 0,23 kA, depósito de 1140 L (diésel)	
Dimensiones y masa	
(5 890×2 518×2 998)mm 7 600 kg neto + remolque de 6 t vacío; 24,8 t lleno	

Para el estudio de esta alternativa, se emplea un modelo de tecnología híbrida, véase la Tabla 6-15.

6.3.1 Viabilidad técnica

6.3.1.1 Consumo energético y emisiones

El sistema de propulsión se basa en un riel conductor incrustado en la calzada, en donde un colector en el inferior del vehículo recoge la energía y la emplea para mover el camión.

Del mismo modo que en la alternativa anterior, sólo se considera la electrificación del tramo PK 183 a 199.

A partir de las evaluaciones de consumo de los diferentes estudios planteados de esta alternativa (Swedish Viktoria, 2014), se puede deducir (Tabla 6-16):

Tabla 6-16: Estimaciones de consumo energético de la Alternativa II.

(Elaboración del autor)

Tramo	Consumo [kWh/km]	Masa [kg]
Inicio-PK 183	3,5	38 420
PK 183-PK 199	1,6	38 420
PK 199-Puerto	3,2	38 420
Puerto-PK 199	3,3	13 600
PK 199-PK 183	1,4	13 600
PK 183-Inicio	5	13 600

Notar que, como no se considera ninguna batería adosada al camión (en el caso del Volvo FH 12 testado) para su propulsión fuera del tramo electrificado, el consumo energético se multiplica al emplear un motor térmico. Por este hecho, las emisiones del camión son más semejantes a las consideradas en la alternativa cero (ver Tabla 6-17).

Tabla 6-17: Estimaciones de emisiones de la Alternativa II.

(Elaboración del autor)

Tramo	Consumo [g/s]	CO ₂ [g/s]	CO [mg/s]	NO _x [mg/s]
Inicio-PK 183	3,0	9,4	63,3	54,3
PK 183-PK 199	0	0	0	0
PK 199-Puerto	4,6	14,4	97,0	83,1
Puerto-PK 199	5,1	15,8	107,0	91,8
PK 199-PK 183	0	0	0	0
PK 183-Inicio	4,4	13,5	91,4	78,4

Debido a que el motor empleado tiene una norma medioambiental más antigua (y por tanto, menos restrictiva), se aprecian unos niveles de emisión mayores.

6.3.1.2 Madurez de la tecnología

El empleo de la alimentación por el suelo se origina en el siglo XIX en el sector ferroviario, a partir del concepto de *tercer raíl*. No obstante, el sistema que se utiliza en esta alternativa tiene su origen en el año 2000, en el ámbito tranviario (sistema APS, ver apartado 3.2.2.1). En cuanto a su uso en carretera, el empleo de este sistema es muy reciente, siendo testeado con camiones de pequeño tamaño y turismos.

6.3.1.3 Resistencia ante inclemencias y accidentes

El punto crítico relativo al uso de esta alternativa reside en el riel electrificado incrustado en el asfalto. Éste ha de soportar:

- Sobre tensiones y sobreintensidades de la línea.
- Defectos a tierra.
- Descargas eléctricas atmosféricas.
- Cortes de la línea.
- Obstrucción y oclusión del conductor por suciedad o restos.
- Seguridad ante operación con entorno húmedo
- Corrosión y desgaste del conductor.

El diseño intrínseco del conductor embebido minimiza los riesgos que presenta un elemento energizado a nivel de suelo, si bien precisa un mayor control en el reparto de la energía, localizando los segmentos necesarios para proporcionar electricidad al vehículo. En caso de nieve o agua, el sistema considerado puede funcionar igualmente, aunque aún está pendiente su comportamiento ante placas de hielo, y su respuesta ante objetos en la vía.

6.3.1.4 Adaptación a la infraestructura

Para la aplicación de la alternativa a la infraestructura existente, se necesitan:

- **Subestaciones y sistemas de control:** al igual que en la Alternativa I, se necesita transformar y rectificar la electricidad de la red a los valores adecuados. También debe estar presente un sistema de monitorización que controle la cantidad de energía demandada y suministrada.
- **Riel de alimentación:** se encarga de suministrar la energía al vehículo. Está insertado en la calzada, y dividido en segmentos aislados entre sí.
- **Seccionadores (*power boxes*):** son los elementos que permiten energizar los

segmentos en los que se divide el conductor, focalizando la energía a aquellos puntos donde un vehículo lo necesita, y aislando aquellas donde no, minimizando el riesgo de accidente.

- **Colector:** recoge la corriente del riel, transmitiendo la electricidad al motor del camión. Se inserta y retrae de forma automática.



Cuadro 6-3: Elementos accesorios a la infraestructura existente de la Alternativa II.

Izquierda, superior: subestación rectificadora CA-CC. Proporciona tensión a 690 V.

Izquierda, inferior: riel conductor; se compone de dos raíles, uno de ida y otro de retorno, divididos cada kilómetro.

Derecha, superior: detalle del colector. Su diseño permite recoger la corriente eléctrica aún con vibraciones y obstáculos en la vía.

Derecha, inferior: instalación del seccionador entre dos segmentos de riel. Es el encargado de aplicar corriente al tramo donde exista un vehículo encima.

Fuente: Alstom, Volvo Trucks, MEP

6.3.1.5 Obra necesaria

Para la construcción de los elementos de la Alternativa II, se precisa un movimiento de tierras para la colocación de las subestaciones, y además requiere una actuación en la calzada, abriendo una zanja en ésta para la colocación del elemento conductor y los dispositivos seccionadores.

Al igual que en el resto de alternativas, también se contempla la construcción de garajes, talleres y demás construcciones relativas al mantenimiento y uso de los camiones.

6.3.1.6 Escalabilidad

Teóricamente, la escalabilidad potencial de la alternativa es notable, y la utilización de

este sistema en el ámbito ferroviario es amplia. Sin embargo, a la fecha del estudio sólo se han ejecutado un reducido número de proyectos con esta tecnología, por lo que aún se sitúa en una fase de investigación y desarrollo.

6.3.1.7 Capacidad

Inicialmente, el sistema APS está diseñado para propulsar pocos vehículos de longitud considerable por líneas de escasos kilómetros; sin embargo, los vehículos utilizados son de una relativa corta longitud, la línea a tender es de notoria longitud, y el número de vehículos es algo mayor en comparación con la cantidad que suele trabajar un sistema APS –ver Cuadro 6-4–.



Cuadro 6-4: Problemática del sistema APS.

En el sistema APS estándar, la longitud del vehículo permite que éste pueda ser alimentado por más de un segmento a la vez, garantizando la continuidad del suministro. Esto no ocurre considerando como vehículo a un camión, por lo que el control de la energía aplicada a éste se torna más complejo.

(Elaboración del autor)

No obstante, la segmentación del riel conductor deja abierta la posibilidad de alimentar un número considerable de camiones, si bien es necesario adaptar la construcción de la línea a dichas condiciones.

6.3.2 Impacto ambiental

6.3.2.1 Conservación del paisaje

El impacto relativo al paisaje será más reducido en los tramos electrificados, debido a la reducción de emisiones, principalmente. No obstante, fuera de estos tramos, el empleo de combustible hace que esta alternativa presente las mismas características que las consideradas en la alternativa cero, por lo que algunas partes se beneficiarían de la construcción de la infraestructura eléctrica, pero aquellas en donde no estuviese ésta presente, el impacto sería el mismo.

Al igual que en la Alternativa I, existe un riesgo asociado a fugas accidentales de los componentes de baterías basados en elementos susceptibles de incendio como el litio. El impacto visual es reducido, pues la mayoría de la infraestructura se desarrolla sobre el asfalto.

6.3.2.2 Conservación de la flora

Se considera el efecto de la erosión de la vegetación causada por el tránsito de los

camiones por la calzada. El desplazamiento de las emisiones de CO₂, y la construcción de los elementos constructivos necesarios puede provocar un cambio en el ritmo de crecimiento de la vegetación.

6.3.2.3 Conservación de la fauna

Los riesgos más considerables en este apartado son los relacionados con la naturaleza eléctrica de la infraestructura. Aparte del peligro de atropello por cruce de animales en la calzada, el hecho de que haya un conductor desnudo a nivel del suelo constituye un a amenaza potencial. Los seccionadores solucionan en parte este inconveniente, pero en el caso de que un ser vivo entre en contacto con un segmento energizado, se enfrenta al doble riesgo de electrocución y atropello.

Aparte, también existe un riesgo potencial por contacto eléctrico entre los componentes auxiliares (subestaciones rectificadoras, seccionadores, colector).

6.3.2.4 Conservación de la hidrología

Considerar, como en el resto de alternativas, los impactos ocasionados por el derrame accidental de productos de limpieza, residuos sólidos o aceites. También se han de tener en cuenta los movimientos de tierra necesarios para la construcción de la infraestructura, sobre todo cuando ésta se sitúa a un nivel más cercano a los cursos de agua.

6.3.2.5 Impacto durante fase de diseño

Se incluyen las actividades de definición de los terrenos y vías, la estimación de la ubicación de los elementos constructivos, así como el testeo de los camiones e instalaciones. El impacto es poco significativo.

6.3.2.6 Impacto durante fase de construcción

Los impactos en esta fase se refieren a la edificación de las instalaciones, y la cimentación de la infraestructura. Se prevén movimientos de tierra, actuación directa sobre la calzada, cambio en los cursos de agua, generación de ruido, aumento del tráfico, ocupación y pérdida del suelo, y modificación en la morfología del suelo.

6.3.2.7 Impacto durante fase de operación

Se generan una serie de impactos positivos, causados por la reducción de emisiones y el menor ruido producido, al menos en los tramos electrificados. Sin embargo, sí cabe lugar a impactos negativos, correspondientes a:

- Demanda de electricidad correspondiente al uso de los camiones.
- Sustancias peligrosas relacionadas con el mantenimiento y uso de éstos.
- Emisiones accidentales de elementos dañinos (aceites, litio, etcétera).
- Desechos metálicos y plásticos.
- Emisiones de gases y ruido en aquellas zonas no electrificadas.

6.3.2.8 Impacto durante la fase de clausura

En dicha fase se incluyen aquellas actividades dirigidas a la retirada de los componentes involucrados en la infraestructura, incluyendo la gestión de los camiones mismos al

final de su vida útil, y de los emplazamientos y maquinaria anexos a su uso.

También están incluidos las operaciones de desmantelamiento de las subestaciones y riel conductor, que pueden acarrear un movimiento de tierras, ruido, e impactos similares a los descritos en la fase de construcción.

6.3.3 Impacto social

6.3.3.1 *Estética y percepción ciudadana*

Relativo al apartado de diseño, la alternativa considerada es visualmente de una naturaleza más discreta, en relación con la Alternativa I, aunque más llamativa que la Alternativa III. En cuanto a la percepción social de la opción, se puede establecer que:

- La energía eléctrica es más limpia.
- No hace ruido.
- No contamina.
- Los vehículos eléctricos son más baratos de mantener.
- Los vehículos eléctricos ayudan a combatir el cambio climático.
- El uso de electricidad en los coches resulta innovador.
- La electricidad puede ser la solución al petróleo.
- El uso de electricidad en los vehículos pesados ya existía (trolebús).
- No existe capacidad energética para abastecer a todos los vehículos.
- Es muy peligroso conducir electricidad a través de raíles en el suelo.
- Ocupar un carril para vehículos eléctricos disminuye la capacidad de las autopistas.
- Un vehículo eléctrico es más caro y tiene menos autonomía.
- El camión contamina cuando no está en la autopista.

Las reseñas son parecidas a las calificadas en la Alternativa I y III, aunque existen ligeros cambios en los últimos comentarios, relacionados con la infraestructura y el funcionamiento del camión.

6.3.3.2 *Interés empresarial*

En el desarrollo del sistema asociado en esta alternativa, están inscritas una cantidad considerable de empresas; no obstante, el interés general que causa el desarrollo de esta tecnología avanza, en la fecha del estudio, de forma muy tenue y lenta. El último proyecto realizado con esta opción data de 2018, sin mucha repercusión mediática. El estado de la técnica no ayuda a propiciar un ambiente lo suficientemente seguro para considerarse una opción segura ante el uso de camiones térmicos convencionales.

6.3.3.3 *Apoyo institucional*

En las iniciativas realizadas, el sector gubernamental ha representado un papel importante, al ser el principal promotor de la actividad. No obstante, esta involucración fue realizada en un país determinado, y resulta difícil predecir la predilección del gobierno local por un proyecto de semejante naturaleza.

6.3.3.4 *Flujo de tráfico durante la construcción*

Debido a que el sistema eléctrico discurre en la calzada, para su instalación es necesario el corte de un carril por completo, lo que puede conllevar retenciones en la zona de

trabajo. Para la realización de estos trabajos, se puede optar por trabajar en momentos de baja densidad de tráfico, por la noche como ejemplo.

6.3.3.5 Flujo de tráfico durante la operación

La tecnología contemplada en la alternativa permite tránsitos de hasta 100 km/h; no obstante, por razones legales los vehículos que utilicen este sistema sólo pueden discurrir a velocidades menores o iguales a 90 km/h, ocasionando eventualmente una ralentización del flujo del tráfico.

6.3.4 Repercusiones económicas

6.3.4.1 Inversión inicial

El precio de salida del camión es de 102 500 EUR, más el precio que considera la instalación del equipamiento electrónico y el colector, que suman un precio aproximado de 5 000 EUR, lo que consiste en un coste total de 107 500 EUR. El precio de los remolques volquetes se mantiene inalterable, con un valor de 10 000 a 30 000 EUR.

Ajustándose a la situación actual, se supondrá un coste por kilómetro global de 2 MEUR; para el tramo PK 183-PK 199, la inversión a realizar asciende a 36 MEUR.

En la Tabla 6-18, se hace un desglose de la inversión necesaria para ejecutar la alternativa.

Tabla 6-18: Estimación de inversiones iniciales necesarias para la Alternativa II.

(Elaboración del autor)

Activo	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Camión Volvo FH12 500	107 500,00 EUR	14	1 505 000,00 EUR
Volquete	30 000,00 EUR	14	420 000,00 EUR
Construcción de instalaciones	100 000,00 EUR	2	200 000,00 EUR
Maquinaria y equipo aux	32 000,00 EUR	7	224 000,00 EUR
Adecuación zona	10 000,00 EUR	5	50 000,00 EUR
Tributaciones			1 463 800,00 EUR
SRC	3 500,00 EUR	1	3 500,00 EUR
Seguro tractocamión	5 700,00 EUR	14	79 800,00 EUR
Patentes y licencias		100	100 000,00 EUR
SUBTOTAL			3 946 100,00 EUR
Imprevistos		5,00%	197 305,00 EUR
Contribución a infraestructura			31 953 900,00 EUR
Total			36 197 305,00 EUR

6.3.4.2 Coste de operación y mantenimiento

Como en el resto de alternativas contempladas, se mantiene igual el gasto en personal necesario (Tabla 6-6). Ha de considerarse el coste de la energía eléctrica y el combustible necesario. En el caso del primero, seleccionando la tarifa 6.2 en base a la Tabla 5-39, se infiere un coste eléctrico anual de 127 997,89 EUR.

Del mismo modo, se constata el coste de combustible necesario: con un consumo de 11,03 L/viaje, un repostaje del 90% de la cantidad del depósito, y un coste de 1,25 EUR/L de combustible diésel:

$$2700 \frac{\text{viajes}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ repostaje}}{93 \text{ viajes}} \times 1026 \frac{\text{L}}{\text{repostaje}} \times 1,25 \frac{\text{EUR}}{\text{L}} \times 14 \text{ camiones}$$

$$= 521\,274,19 \frac{\text{EUR}}{\text{año}}$$

(6-8)

Sobre el mantenimiento, ha de tenerse en consideración los gastos dirigidos al cuidado del tractocamión, y la manutención de la línea eléctrica. En la Tabla 6-19 se resumen los siguientes gastos por kilómetro:

Tabla 6-19: Costes por kilómetro de mantenimiento y reparaciones de la Alternativa II.

(Elaboración del autor)

Coste de mantenimiento	0,0083 EUR/km
Coste de reparaciones	0,0230 EUR/km

Para el mantenimiento de la infraestructura, se estima coste del 25% de los gastos estimados en el apartado *imprevistos* de la Tabla 6-18. El coste anual de todas las cuantías crecerá un 1% anual.

6.3.4.3 Retorno de la inversión

Se tiene en consideración los comentarios apreciados en 6.1.4.3. En la Tabla 6-20 se detalla la estimación económica de la Alternativa II.

6.3.4.4 Potencial subvención

Al igual que la Alternativa I, la ejecución de una infraestructura de este estilo precisa la colaboración de los agentes gubernamentales locales, regionales e (inter)nacionales. A fecha del estudio, se desconoce el potencial interés de la Administración en invertir en esta tecnología. En el cálculo de los flujos de caja, se asumirá una subvención en la inversión inicial del 50%.

6.3.4.5 Riesgo financiero

Los indicadores financieros del VAN y TIR advierten de una pérdida en la inversión (VAN < 0). Sólo la relación BC resulta positiva. La existencia de flujos de caja negativos conlleva al cálculo de una TIR corregida.

Tabla 6-20: Estimación económica de la Alternativa II


(Elaboración del autor)

Año	Ingresos	Gastos	Saldo crédito	Intereses	Amortización	Reembolso crédito	Flujo de caja	Flujo actualizado
0	18 098 652,50 EUR	18 098 652,50 EUR					-18 098 652,50 EUR	-18 098 652,50 EUR
1	3 175 200,00 EUR	917 218,09 EUR	18 098 652,50 EUR	307 677,09 EUR	3 806 411,12 EUR	3 498 734,03 EUR	-1 240 752,12 EUR	-1 228 467,44 EUR
2	3 195 937,88 EUR	926 390,27 EUR	14 599 918,47 EUR	248 198,61 EUR	3 806 411,12 EUR	3 558 212,51 EUR	-1 288 664,90 EUR	-1 263 273,11 EUR
3	3 216 811,21 EUR	935 654,18 EUR	11 041 705,97 EUR	187 709,00 EUR	3 806 411,12 EUR	3 618 702,12 EUR	-1 337 545,09 EUR	-1 298 208,08 EUR
4	3 237 820,86 EUR	945 010,72 EUR	7 423 003,85 EUR	126 191,07 EUR	3 806 411,12 EUR	3 680 220,05 EUR	-1 387 409,91 EUR	-1 333 273,65 EUR
5	3 258 967,73 EUR	954 460,82 EUR	3 742 783,80 EUR	63 627,32 EUR	3 806 411,12 EUR	3 742 783,80 EUR	-1 438 276,89 EUR	-1 368 471,11 EUR
6	3 280 252,72 EUR	2 561 593,26 EUR			408 240,76 EUR		310 418,70 EUR	292 428,45 EUR
7	3 301 676,72 EUR	973 645,49 EUR			408 240,76 EUR		1 919 790,47 EUR	1 790 623,23 EUR
8	3 323 240,65 EUR	983 381,94 EUR			408 240,76 EUR		1 931 617,94 EUR	1 783 816,76 EUR
9	3 344 945,42 EUR	993 215,76 EUR			408 240,76 EUR		1 943 488,89 EUR	1 777 009,29 EUR
10	3 366 791,94 EUR	1 467 089,21 EUR			332 883,47 EUR		1 566 819,26 EUR	1 418 421,03 EUR
11	3 388 781,15 EUR	1 013 179,40 EUR			332 883,47 EUR		2 042 718,28 EUR	1 830 936,84 EUR
12	3 410 913,97 EUR	2 719 182,86 EUR			350 271,85 EUR		341 459,26 EUR	303 027,75 EUR
13	3 433 191,35 EUR	1 033 544,30 EUR			350 271,85 EUR		2 049 375,19 EUR	1 800 709,34 EUR
14	3 455 614,23 EUR	1 043 879,75 EUR			350 271,85 EUR		2 061 462,63 EUR	1 793 396,15 EUR
15	3 478 183,55 EUR	1 054 318,54 EUR			350 271,85 EUR		2 073 593,16 EUR	1 786 088,38 EUR
16	3 500 900,28 EUR	1 064 861,73 EUR			350 271,85 EUR		2 085 766,70 EUR	1 778 786,19 EUR
17	3 523 765,38 EUR	1 075 510,35 EUR			350 271,85 EUR		2 097 983,18 EUR	1 771 489,77 EUR
							VAN	-9 262 532,82 EUR
							TIR	N/D
	Riesgo	7%						
	Inflación	1%						
	TREMA	8,07%						
							Relación BC	1,73

6.4 ALTERNATIVA III

Tabla 6-21: Datos rápidos del modelo utilizado en la Alternativa III.

Fuente: Scania

Scania R 480 4×2 LB	
	
Motor térmico	
Cilindrada	12 740 cm ³ , 6 cilindros
Consumo medio	33 L/100 km (en cruce, estimación)
Potencia máxima	480 hp / 486 CV / 358 kW (a 1900 rpm)
Par máximo	2500 Nm (1000 a 1300 rpm)
Norma ambiental	Euro V (1,5 g/kWh CO; 2 g/kWh NO _x ; 0,46 g/kWh HC)
Motor eléctrico	
Potencia nominal/máxima	200 kW (estimación)
Transmisión	
Caja de cambios	Scania GRS905R, 12 velocidades
Extras	
Inyección electrónica dos baterías de 24 V, 0,1 kA, depósito de 800 L (diésel, estimación), batería principal de ion-Li ⁺ de 5 kWh,	
Dimensiones y masa	
(9 950×2 600×4 000)mm 19 000 kg neto 8 520 kg de carga máxima 13 000 kg de carga con adaptación a volquete	

La tecnología aplicada a la siguiente alternativa es la comentada en la Tabla 6-21.

6.4.1 Viabilidad técnica

6.4.1.1 Consumo energético y emisiones

Para la propulsión del vehículo, una superficie bobinada debajo de la calzada se pone en tensión, permitiendo que un solenoide en la parte inferior del vehículo recoja la energía transmitida y la utilice para el movimiento del camión.

Del mismo modo que en la alternativa anterior, la electrificación sólo se tiene en cuenta en el tramo PK 183 a 199.

Tomando como referencia los datos extraídos de la bibliografía existente (Swedish Viktoria, 2014), se infieren los siguientes consumos (Tabla 6-22):

Tabla 6-22: Estimaciones de consumo energético de la Alternativa III.

(Elaboración del autor)

Tramo	Consumo [kWh/km]	Masa [kg]
Inicio-PK 183	3	27 250
PK 183-PK 199	1,9	27 250
PK 199-Puerto	3,1	27 250
Puerto-PK 199	3,2	19 000
PK 199-PK 183	1,7	19 000
PK 183-Inicio	4,2	19 000

Se ha de destacar que la batería que porta el camión posee una capacidad insuficiente para alimentar por completo las necesidades energéticas del vehículo fuera de las zonas electrificadas (cuestión semejante a la apreciada en el Gráfico 6-4 y Gráfico 6-5). Por esa razón, los niveles de emisiones estimados se asemejan a los calculados en la Alternativa II.

Tabla 6-23: Estimaciones de emisiones de la Alternativa III.

(Elaboración del autor)

Tramo	Consumo [g/s]	CO ₂ [g/s]	CO [mg/s]	NO _x [mg/s]
Inicio-PK 183	2,7	8	55,2	49,1
PK 183-PK 199	0	0	0	0
PK 199-Puerto	4,1	12,3	81,2	74,4
Puerto-PK 199	4,6	13,4	90,1	81,7
PK 199-PK 183	0	0	0	0
PK 183-Inicio	3,8	12,1	88,3	73,4

6.4.1.2 Madurez de la tecnología

El uso del aire como transmisor de energía a través de circuitos magnéticos comenzó a principios del siglo XX de mano de las invenciones de Nikola Tesla, aunque sus usos en vehículos no se pusieron en práctica hasta 2010, con el autobús eléctrico OLEV, y en camiones, en 2013, con el proyecto PRIMOVE.

En la fecha de realización del presente estudio, los avances en el uso de esta tecnología para el sector del transporte carretero de mercancías han sido mínimos en comparación con otras alternativas, debido a problemas de índole constructiva de compleja resolución, entre otros. La técnica aplicada a esta alternativa sólo ha sido testada en camiones en el proyecto citado en el apartado 3.2.3: Alimentación por inducción.

6.4.1.3 Resistencia ante inclemencias y accidentes

La infraestructura instalada ha de soportar:

- Sobretensiones y sobreintensidades de la línea.
- Defectos a tierra.
- Descargas eléctricas atmosféricas.
- Cortes de la línea.
- Corrosión del conductor.

El elemento conductor, al estar bajo la calzada, evita los riesgos de contacto eléctrico. No se ha probado en entornos húmedos, obstrucciones en la vía, placas de hielo o nieve.

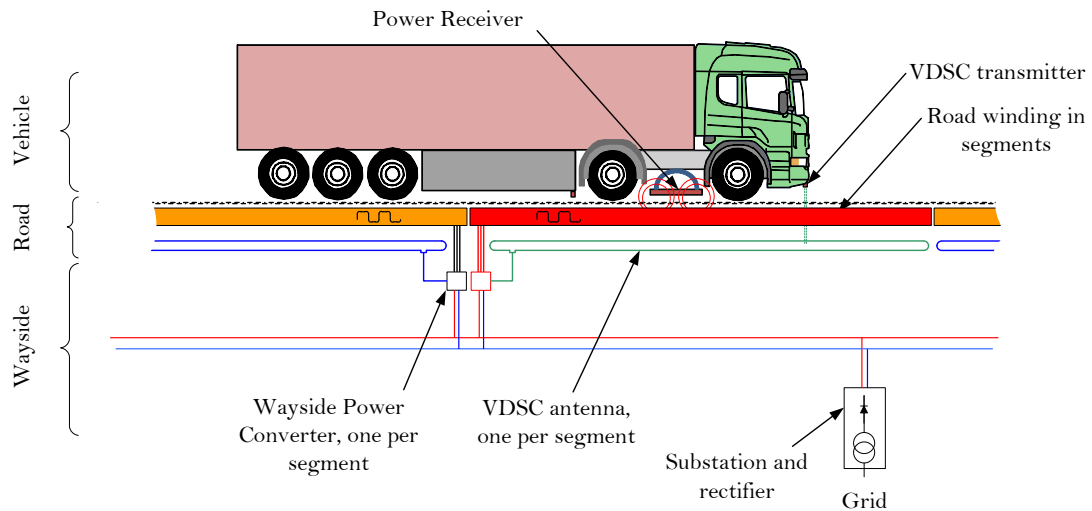
6.4.1.4 Adaptación a la infraestructura

Con el fin de ejecutar la infraestructura necesaria para la alternativa, se necesitan una serie de elementos:

- **Subestaciones rectificadoras:** a diferencia de los sistemas de conversión empleados en las otras alternativas, la corrección de la onda se realiza mediante un rectificador de impulsos autoconmutado, proporcionando una señal continua de alta calidad.
- **Devanado viario – hilo inductor:** es el elemento que transmite la energía entre la infraestructura y el vehículo. Se compone de unas bobinas entrelazadas, por las que discurre 400 A, CA.
- **WPC:** *Wayside Power Converter*; es un dispositivo que convierte la CC que suministra la subestación rectificadora en CA, con valores de tensión y frecuencia adecuados para el vehículo
- **VDSC:** *Vehicule Detection and Segment Control*; se encarga de verificar que

existe un camión debajo del devanado viario, activando el segmento necesario para proporcionar energía al vehículo.

- **Placa inductora:** es el elemento análogo al colector de las otras alternativas. Consiste en una placa de 2 m², instalada en el inferior del camión.



Cuadro 6-5 :Elementos a añadir a la infraestructura existente de la Alternativa III.

Fuente: Oscar Olsson

6.4.1.5 Obra necesaria

La actuación necesaria para la implantación de la alternativa sobre la infraestructura existente requiere de un movimiento de tierras para la colocación de las subestaciones, y trabajos en la calzada, abriendo un hueco con el fin de colocar los elementos partícipes en la transmisión de energía al vehículo (devanado viario, WPC, VDSC).

Notar del mismo modo la necesidad de actuación sobre el entorno para la edificación de garajes, talleres y zonas de mantenimiento y uso de los camiones.

6.4.1.6 Escalabilidad

El potencial de utilizar la tecnología de esta alternativa en otros entornos es escaso, al sólo haberse realizado hasta la fecha un proyecto. Los resultados de la experiencia PRIMOVE no se han publicado, por lo que la escalabilidad de la alternativa resulta desconida.

6.4.1.7 Capacidad

Debido a que los componentes necesarios son independientes de la carga necesaria, la capacidad potencial del sistema es bastante amplia. Aparte, el diseño por segmentos de la infraestructura permite una modularidad que permite ampliaciones en la línea electrificada. Sin embargo, la falta de experiencia con el uso de esta tecnología hace difícil prever la capacidad real de la técnica puesta en práctica.

6.4.2 Impacto ambiental

6.4.2.1 Conservación del paisaje

Relacionado con este apartado, los impactos que pueden alcanzar al paisaje están relacionados con las emisiones de aceite y residuos sólidos, las fugas y derrames accidentales de sustancias empleadas en los camiones, así como la alteración visual y morfológica del paisaje.

6.4.2.2 Conservación de la flora

Al igual que en el resto de las alternativas, se destaca los impactos ocasionados por la erosión de la vegetación aledaña a la calzada por el tránsito de los camiones, la eliminación de suelo útil para la construcción de los elementos constitutivos de la infraestructura, y el desplazamiento de las emisiones de gases contaminantes fuera de los tramos electrificados.

6.4.2.3 Conservación de la fauna

Un hecho que diferencia esta alternativa de las demás es la eliminación del riesgo por contacto eléctrico en la calzada, debido a la transmisión inalámbrica de la energía. A cambio, se genera la posibilidad de daño por exposición a campos electromagnéticos dentro del entorno viario, que puede causar desorientación a animales.

No obstante, sigue existiendo el peligro de atropello en la vía, así como el contacto accidental con elementos eléctricos energizados en las subestaciones y zonas de reparto de electricidad.

6.4.2.4 Conservación de la hidrología

Se prevé que los mayores daños puedan deberse a derrames accidentales de productos de limpieza, aceites o residuos sólidos, así como cambios en los cursos de agua causados por movimientos de tierra.

6.4.2.5 Impacto durante fase de diseño

Se relacionan con las tareas involucradas en la medición de terrenos y vías, localización de elementos constructivos y testeo de éstos y los vehículos. El impacto en este punto es poco relevante.

6.4.2.6 Impacto durante fase de construcción

Referido a la cimentación y edificación de los complejos y elementos relacionados con la infraestructura, así como movimientos de tierra, actuación directa en la calzada, cambios en la hidrología, aumento del tráfico, ocupación y pérdida del suelo, y cambios en la morfología del terreno.

6.4.2.7 Impacto durante fase de operación

Del mismo modo que en la Alternativa II, se genera un impacto positivo en las zonas electrificadas, pero también ha de destacarse una serie de impactos negativos, traducidos en actividades y consecuencias tales como:

- Demanda de electricidad en los tramos electrificados.
- Presencia de sustancias peligrosas relacionadas con el mantenimiento y uso de los vehículos.
- Emisiones accidentales de elementos contaminantes.
- Desechos metálicos.
- Emisiones de gases contaminantes en las zonas no electrificadas.

6.4.3 Impacto social

6.4.3.1 *Estética y percepción ciudadana*

Por un lado, el diseño de la opción estudiada es el más discreto entre las Alternativas I, II y III, al estar situado debajo del asfalto y no tener ningún elemento que resalte sobre él. Si se aprecia las opiniones de la sociedad en torno al uso de este tipo de técnica, se deducen los siguientes estamentos:

- La energía eléctrica es más limpia.
- No hace ruido.
- No contamina.
- Los vehículos eléctricos son más baratos de mantener.
- Los vehículos eléctricos ayudan a combatir el cambio climático.
- El uso de electricidad en los coches resulta innovador.
- La electricidad puede ser la solución al petróleo.
- Es una tecnología sin cables, como los teléfonos móviles.
- No existe capacidad energética para abastecer a todos los vehículos.
- Es muy peligroso conducir electricidad por debajo del suelo.
- Puede ser peligroso exponer a las personas a campos magnéticos.
- Ocupar un carril para vehículos eléctricos disminuye la capacidad de las autopistas.
- Un vehículo eléctrico es más caro y tiene menos autonomía.
- El camión contamina cuando no está en la autopista.

Los comentarios recogidos son muy semejantes a los recogidos en la Alternativa I y II, con algunas reseñas extra relativas a la naturaleza electromagnética de la tecnología aplicada en la alternativa.

6.4.3.2 *Interés empresarial*

El atractivo que sugiere el uso de esta tecnología dentro del entorno empresarial es muy escaso, al menos en el sector del transporte de mercancías por carretera; las empresas involucradas en el proyecto PRIMOVE a fecha del estudio dirigen sus esfuerzos hacia otro tipo de opciones dentro de la movilidad eléctrica.

6.4.3.3 *Apoyo institucional*

Por una parte, el sector gubernamental está en una opinión favorable hacia todas las opciones que impliquen un esfuerzo por combatir el cambio climático y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, así como la dependencia energética de otros países. Pero, por otra parte el apoyo de las instituciones está íntimamente relacionado con el apoyo de las empresas, y sin éstas se puede esperar un soporte escaso.

6.4.3.4 Flujo de tráfico durante la construcción

Se puede prever un incremento en el tráfico debido a la puesta en campo de los elementos que precisa la alternativa, al requerirse un corte total en un carril por sentido. Se recomienda, como en el resto de alternativas, los trabajos en horas valle o durante el horario nocturno.

6.4.3.5 Flujo de tráfico durante la operación

De lo experimentado durante el proyecto PRIMOVE, sólo se ha probado el uso de la tecnología en velocidades de hasta 70 km/h; si se toma ésta como velocidad de empleo, la diferencia con respecto a la velocidad genérica de la vía puede provocar retenciones y complicaciones en el flujo y tránsito de vehículos por la vía.

6.4.4 Repercusiones económicas

6.4.4.1 Inversión inicial

El precio de la unidad motriz se refleja en 197 000 EUR, al que se ha de sumar el coste necesario para instalar el equipamiento eléctrico. A falta de mayores datos, se supone un incremento del coste en un 20%. El precio del volquete se incluye en el del camión, por lo que el total asciende a 236 400 EUR.

En base a las estimaciones calculadas en la Tabla 3-2, se supone un coste medio para el tramo PK 183-PK 199 de 8 MEUR/km; la inversión a realizar se estima en 144 MEUR.

En la Tabla 6-24 se descompone la inversión necesaria para la realización de la alternativa.

Tabla 6-24: Estimación de inversiones iniciales necesarias para la Alternativa III.

(Elaboración del autor)

Activo	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Camión Scania R 480 LB	236 400,00 EUR	14	3 309 600,00 EUR
Volquete	N/A	N/A	0,00 EUR
Construcción de instalaciones	100 000,00 EUR	2	200 000,00 EUR
Maquinaria y equipo aux	32 000,00 EUR	7	224 000,00 EUR
Adecuación zona	10 000,00 EUR	5	50 000,00 EUR
Tributaciones			2 294 560,00 EUR
SRC	3 500,00 EUR	1	3 500,00 EUR
Seguro tractocamión	5 700,00 EUR	14	79 800,00 EUR
Patentes y licencias		190	190 000,00 EUR
SUBTOTAL			6 351 460,00 EUR
Imprevistos		5,00%	317 573,00 EUR
Contribución a infraestructura			137 648 540,00 EUR
Total			144 317 573,00 EUR

6.4.4.2 Coste de operación y mantenimiento

Permaneciendo constante el gasto en personal necesario (Tabla 6-6), se calcula el coste de la energía eléctrica y el combustible. Para el pago de los servicios por electricidad, con la tarifa 6.2, en base a la Tabla 5-39, se deduce un coste eléctrico anual de 133 741,78 EUR.

Para el cálculo de gasóleo necesario: con un consumo de 11,20 L/viaje, un repostaje del 90% de la cantidad del depósito, y un coste de 1,25 EUR/L de combustible diésel:

$$2700 \frac{\text{viajes}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ repostaje}}{64,3 \text{ viajes}} \times 720 \frac{L}{\text{repostaje}} \times 1,25 \frac{\text{EUR}}{L} \times 14 \text{ camiones}$$

$$= 529 164,72 \frac{\text{EUR}}{\text{año}}$$

(6-9)

Sobre el mantenimiento, los gastos dirigidos al cuidado del tractocamión, y la manutención de la línea eléctrica se resumen en la Tabla 6-25:

Tabla 6-25: Costes por kilómetro de mantenimiento y reparaciones de la Alternativa III.

(Elaboración del autor)

Coste de mantenimiento	0,02 EUR/km (estunacuñon)
Coste de reparaciones	0,0230 EUR/km

Para el mantenimiento de la infraestructura, se asigna un 25% de los gastos estimados en el apartado *imprevistos* de la Tabla 6-24. El coste anual de todas las cuantías crece un 1% anual.

6.4.4.3 Retorno de la inversión

En este apartado, se cuenta con los comentarios mencionados en 6.1.4.3. En la Tabla 6-26 se desglosa la evaluación económica de la alternativa.

6.4.4.4 Potencial subvención

Como sucede en la Alternativa II, se desconoce el interés del gobierno local y las administraciones pertinentes en el empleo de esta tecnología. No obstante, por comparativa se estima una subvención en la inversión inicial del 50%.

6.4.4.5 Riesgo financiero

Los indicadores financieros del VAN y TIR advierten de una gran pérdida en la inversión (VAN < 0). El riesgo financiero del proyecto es tal que desaconseja la aprobación del proyecto.

Tabla 6-26: Estimación económica de la Alternativa III

(Elaboración del autor)

Año	Ingresos	Gastos	Saldo crédito	Intereses	Amortización	Reembolso crédito	Flujo de caja	Flujo actualizado
0	72 158 786,50 EUR	72 158 786,50 EUR					-72 158 786,50 EUR	-72 158 786,50 EUR
1	3 175 200,00 EUR	990 875,36 EUR	72 158 786,50 EUR	1 226 699,37 EUR	15 176 047,35 EUR	13 949 347,98 EUR	-11 765 023,34 EUR	-11 648 537,96 EUR
2	3 195 937,88 EUR	1 000 784,11 EUR	58 209 438,52 EUR	989 560,45 EUR	15 176 047,35 EUR	14 186 486,90 EUR	-11 991 333,12 EUR	-11 755 056,49 EUR
3	3 216 811,21 EUR	1 010 791,95 EUR	44 022 951,63 EUR	748 390,18 EUR	15 176 047,35 EUR	14 427 657,17 EUR	-12 221 637,92 EUR	-11 862 201,35 EUR
4	3 237 820,86 EUR	1 020 899,87 EUR	29 595 294,45 EUR	503 120,01 EUR	15 176 047,35 EUR	14 672 927,34 EUR	-12 456 006,35 EUR	-11 969 977,28 EUR
5	3 258 967,73 EUR	1 031 108,87 EUR	14 922 367,11 EUR	253 680,24 EUR	15 176 047,35 EUR	14 922 367,11 EUR	-12 694 508,24 EUR	-12 078 389,02 EUR
6	3 280 252,72 EUR	4 554 627,05 EUR			621 556,69 EUR		-1 895 931,02 EUR	-1 786 052,78 EUR
7	3 301 676,72 EUR	1 051 834,16 EUR			621 556,69 EUR		1 628 285,88 EUR	1 518 731,64 EUR
8	3 323 240,65 EUR	1 062 352,50 EUR			621 556,69 EUR		1 639 331,46 EUR	1 513 895,10 EUR
9	3 344 945,42 EUR	1 072 976,02 EUR			621 556,69 EUR		1 650 412,71 EUR	1 509 038,06 EUR
10	3 366 791,94 EUR	1 083 705,78 EUR			621 556,69 EUR		1 661 529,47 EUR	1 504 160,95 EUR
11	3 388 781,15 EUR	1 094 542,84 EUR			621 556,69 EUR		1 672 681,62 EUR	1 499 264,21 EUR
12	3 410 913,97 EUR	4 834 828,39 EUR			659 794,95 EUR		-2 083 709,36 EUR	-1 849 186,26 EUR
13	3 433 191,35 EUR	1 116 543,15 EUR			659 794,95 EUR		1 656 853,25 EUR	1 455 814,98 EUR
14	3 455 614,23 EUR	1 127 708,58 EUR			659 794,95 EUR		1 668 110,70 EUR	1 451 194,53 EUR
15	3 478 183,55 EUR	1 138 985,67 EUR			659 794,95 EUR		1 679 402,93 EUR	1 446 552,84 EUR
16	3 500 900,28 EUR	1 150 375,53 EUR			659 794,95 EUR		1 690 729,81 EUR	1 441 890,33 EUR
17	3 523 765,38 EUR	1 161 879,28 EUR			659 794,95 EUR		1 702 091,15 EUR	1 437 207,45 EUR
							VAN	-117 568 362,89 EUR
							TIR	N/D
	Riesgo	7%						
	Inflación	1%						
	TREMA	8,07%						
							Relación BC	1,2

6.5 MATRIZ DE RASTREO

Tabla 6-27: Matriz de rastreo de las alternativas consideradas en el estudio.

(Elaboración del autor)

Alternativas	Asp.	Viabilidad técnica							SUBTOTAL	Impacto ambiental								SUBTOTAL	Impacto social						SUBTOTAL	Repercusiones económicas						TOTAL	PORCENTAJE DE CUMPLIENNTO RESPECTO A ESCENARIO IDEAL	MEJORA RESPECTO A ALTERNATIVA CERO	
	Crit.	1: Pésimo; 10: Óptimo								1: Pésimo - Máximo daño; 10: Óptimo - Mínimo daño									1: Pésimo; 10: Óptimo							1: Pésimo; 10: Óptimo									
		Consumo energético	Madurez de la tecnología	Resistencia ante inclemencias y accidentes	Adaptación a la infraestr. existente	Obra necesaria	Escalabilidad	Capacidad		Conservación del paisaje	Conservación de la flora	Conservación de la fauna	Conservación de la hidrología	Conservación de la conect. territorial	Impacto durante fase de diseño	Impacto durante fase de construcción	Impacto durante fase de operación		Impacto durante fase de clausura	Estética	Percepción ciudadana	Interés empresarial	Apoyo institucional	Flujo de tráfico durante construcción		Flujo de tráfico durante operación	Inversión inicial	Coste de operación y mantenimiento	Retorno de la inversión	Potencial subvención	Riesgo financiero				
	Cero	5	9	7	9	8	9	9	16,8	4	6	7	4	4	9	9	2	7	10,4	2	1	7	1	8	7	3,9	7	5	7	1	8	9,8	40,9	39,44%	0,00%
	I	8	9	6	6	7	8	8	15,6	5	6	6	6	3	8	6	7	6	10,6	4	7	4	7	7	8	5,55	6	7	5	9	6	11,55	43,3	41,76%	5,87%
	II	7	5	6	5	6	5	6	12	5	6	5	6	3	8	5	6	5	9,8	5	8	2	4	4	8	4,65	4	7	2	6	2	7,35	33,8	32,60%	-17,36%
	III	6	3	5	5	5	2	6	9,6	5	6	5	6	2	8	5	5	5	9,4	5	6	1	3	4	6	3,75	1	6	1	5	1	4,9	27,65	26,67%	-32,40%
	Esc. ideal	10	10	10	10	10	10	10	21	10	10	10	10	10	10	10	10	10	36,3	10	10	10	10	10	10	28,89	10	10	10	10	10	17,5	103,69	100,00%	153,52%
	Peso	30%							20%								15%						35%												

7 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

7.1 JUICIO DE LAS ALTERNATIVAS

Tras comentar en el capítulo anterior las alternativas existentes dentro del estudio de una autopista eléctrica proyectada, se recurre a una matriz de rastreo (Tabla 6-27) donde se ponen en relieve los resultados de las distintas opciones.

7.1.1 Relativo a la viabilidad técnica

De entre todas las soluciones propuestas, la más viable en este apartado es la alternativa cero, en tanto que su tecnología ya está ampliamente demostrada en el sector, y los esfuerzos necesarios para su puesta en práctica, según la tecnología existente, son mínimos. El resto de opciones, se sitúan por detrás de ésta, si bien la más cercana a su ejecución, la Alternativa I, sólo se aleja de 1,2 puntos.

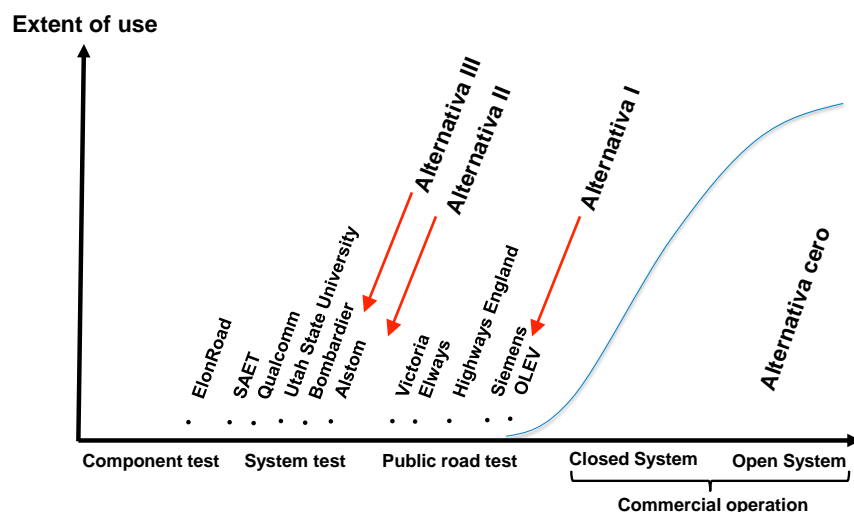


Gráfico 7-1: Estado de la técnica de las diferentes alternativas.

Fuente: Håkan Sundelin

La explicación de este orden en el apartado técnico se explica en el Gráfico 7-1: no todas las opciones estudiadas están al mismo nivel de desarrollo, por lo que su puntuación en este punto no será la misma, y su adecuación en un entorno real requerirá más esfuerzo cuanto menos haya sido probado.

7.1.2 Relativo al impacto ambiental

Estudiando este apartado, la opción con mayor puntuación es la Alternativa I, seguida de la cero, la Alternativa II y III. Si bien el orden parece ilógico, se debe a una serie de hechos:

- La Alternativa I es la única estudiada que minimiza el uso de combustibles fósiles, gracias al uso de una batería de gran capacidad, así como el empleo de biodiesel para su propulsión cuando no existe electricidad disponible.
- La alternativa cero no implica un amplio movimiento de tierras y afección al medio, como sí requieren el resto de opciones estudiadas.

- Las Alternativas II y III requieren una actuación considerable en la zona de estudio, al igual que la Alternativa I, pero que no se ve compensada al emplear combustibles convencionales fuera de las zonas electrificadas, y no portar una batería eléctrica de suficiente tamaño que minimice las emisiones de gases contaminantes fuera de tales zonas.

7.1.3 Relativo al impacto social

En este caso, la Alternativa I obtiene la mayor nota, seguida de la Alternativa II, la cero y la III. Aunque esta opción no es la más atractiva visualmente, y no suscita alto interés empresarial, el visto bueno por parte de las administraciones, y los pocos impactos en el tráfico que genera hacen que supere al resto de soluciones propuestas.

Hágase notar que el aspecto social es el más duro de todas las dimensiones contempladas en el proyecto, si se compara con la nota del escenario ideal. También es de interés notar que la Alternativa III, aunque está mejor vista que la cero, se lleva la peor nota, por el poco interés que suscita, y los problemas al tráfico que acarrea.

7.1.4 Relativo a las repercusiones económicas

Este es el aspecto más importante del juicio de las alternativas, al ser necesario un esfuerzo financiero de gran calado para la realización de las opciones estudiadas. La Alternativa I se lleva la nota más alta de las cuatro alternativas, no por su inversión inicial y retorno de ésta, sino por los bajos costes que precisa su operación y mantenimiento, así como por la potencial subvención que podría obtener.

Comentar que, la alternativa cero obtiene una buena nota gracias a sus altos rendimientos económicos y su escaso riesgo relativo asociado. Por otra parte, los resultados financieros de las Alternativas II y III penalizan mucho la puntuación de tales opciones.

7.2 ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

De acuerdo con el análisis de alternativas, los resultados reflejados en la matriz de rastreo, y el juicio de las alternativas, se pueden ordenar las opciones estudiadas según el Gráfico 7-2:



Gráfico 7-2: Ordenación preferencial de las alternativas, y su situación con respecto al escenario ideal.

(Elaboración del autor)

De entre todas las opciones, la óptima de las consideradas es la Alternativa I, al ser la que mayor puntuación obtiene (43,3), la que más se acerca al escenario ideal (41,76%), y la única solución que ofrece una mejora con respecto a la alternativa cero (+5,87%).

Por detrás de esta, se sitúa la alternativa cero, con una nota de 40,9, y un cumplimiento del 39,44%; la Alternativa II, con 33,8 puntos, 32,6% de cumplimiento, y -17,36% de mejora; y la Alternativa III, con 27,65 puntos, 26,67% de logro, y -32,4% de mejora.

7.3 APLICACIÓN A SITUACIÓN PRÁCTICA

Una vez definida la alternativa que se propone como solución, queda resolver las cuestiones concernientes a la implantación de ésta en el entorno real, dentro de la zona de estudio. Los principales componentes a definir son, por tanto, los elementos relativos al sistema eléctrico (como conductores, sistemas de distribución y transformación, soportes), y los derivados del sistema vial, como la resolución de los problemas de gálibo, y la señalización adecuada en la vía.

7.3.1 Sistema eléctrico

Se entiende como tal al conjunto de todas las partes involucradas en la transmisión y uso de la energía, desde los puntos de enganche en las líneas de distribución, hasta los colectores de corriente de los vehículos. En este apartado, queda detallar:

7.3.1.1 Valores nominales

Entendidos como los datos de tensión y frecuencia que son de aplicación en el sistema eléctrico. Dentro de este apartado, hay que diferenciar tres conjuntos de valores:

- Los de la línea de distribución que alimenta al sistema.
- Los de la línea de reparto, que abastece a las subestaciones rectificadoras.
- Los de la línea de alimentación, que provee de energía a los diferentes vehículos.

En la Tabla 7-1, se recogen dichos valores nominales.

Tabla 7-1: Valores nominales del sistema eléctrico.

(Elaboración del autor)

	Línea de distribución	Línea de reparto	Línea de alimentación
Tensión	55 kV	30 kV	670 V
Frecuencia	50 Hz	50 Hz	N/D; CC

7.3.1.2 Dimensionamiento eléctrico y caracterización estructural del sistema

La arquitectura e infraestructura necesaria para dar cuerpo al sistema eléctrico requiere de la definición de sus elementos constituyentes; su construcción obedece a lo reflejado en el Gráfico 7-3:

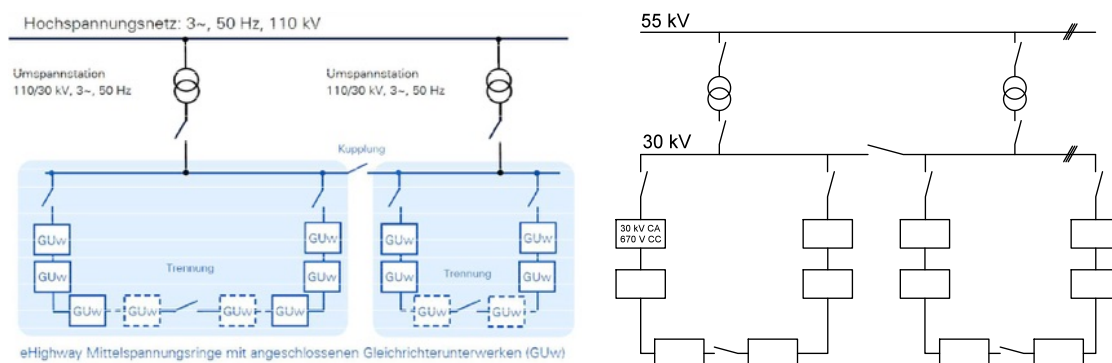


Gráfico 7-3: Esquemas eléctricos de la infraestructura a construir.

Izquierda: esquema del proyecto ENUBA 2.
Derecha: esquema adaptado al entorno del estudio.

Fuente: Siemens, elaboración del autor

Como se aprecia del gráfico anterior, ha de caracterizarse los elementos relativos a los sistemas de transformación, rectificación y reparto de la energía, así como la alimentación al vehículo. De este modo, se detallan los siguientes elementos:

- **Sistemas de transformación**

En primer lugar, se definen los elementos transformadores existentes entre la línea de distribución de la compañía eléctrica existente, y la línea de reparto. Se compone de dos subestaciones, una a cada principio de la línea, de los que se proyecta una potencia de 1 MW.

Tomando como referencia las normas de electrificación ferroviarias (NAE), las características de estos transformadores son (ET 03.359.121.5): [3]

- Tensión en el primario de 55 000 V.
- Tensión en el secundario de 33 000 V.
- Nivel de aislamiento de 72,5 kV.
- Pérdidas por efecto Joule de 29 500 W.
- Pérdidas en vacío de 8 900 W.
- Conexión Yy0d11.
- Dimensiones de $(3\,600 \times 1\,800 \times 4\,500)$ mm.

En segundo lugar, ha de establecerse los elementos rectificadores que proporcionan la energía eléctrica al cable de alimentación. Para ello, pequeñas unidades transformadoras rectificadoras se instalarán al lado del tendido eléctrico, cada dos kilómetros desde el inicio de la línea.

De acuerdo con la ET 03.359.104.1, y los requerimientos del sistema eléctrico en base a lo definido en el apartado 7.3.1.1, se nombran las siguientes características:

- Tensión de entrada de 30 000 V.
- Tensión de salida de 670 V.
- Factor de rizado de 0,02
- Corriente continua máxima de 600 A.
- Conexión Dy5.
- Dimensiones de $(2\,200 \times 2\,000 \times 2\,600)$ mm.

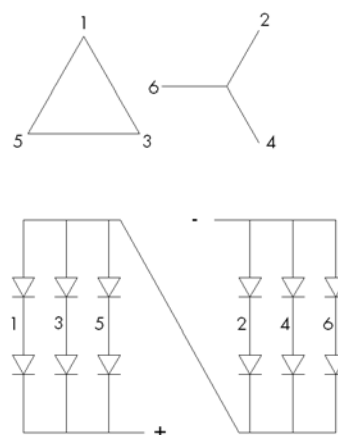


Gráfico 7-4: Conexiones eléctricas del conjunto transformador rectificador.

Fuente: ADIF

En el Gráfico 7-4, se aprecian los esquemas de conexión.

Las instalaciones descritas estarán dentro de un recinto o envoltente, en donde el rango térmico se sitúe entre $(+40\text{ }^{\circ}\text{C}, -5^{\circ}\text{C})$, la humedad no supere el 93%, y se sitúen a una altitud menor a los 1 000 m.

En estos elementos, es necesario establecer una serie de protecciones, entre las que se incluyen seccionadores, interruptores automáticos (ya sean de aceite, vacío, de hexafluoruro de azufre), así como autoválvulas y transformadores de medida y protección, y una serie de puestas a tierra, de acuerdo con la ITC RAT-13.

• Cableado y sistemas de alimentación

En este apartado se detallan todos los elementos que tienen relación con la conducción de la energía eléctrica desde su lugar de acometida hasta la catenaria. Así, se diferencia, por un lado, la conducción de la línea de reparto. Ésta lleva la energía desde la subestación transformadora hacia los puntos de rectificación, colocados a lo largo del trazado electrificado.

Entre las estaciones de transformación, la línea de reparto será aérea; el cableado constará de una pareja de cables de aluminio compacto, clase 2 UNE-EN 60228, de 400 mm² de sección, con una pantalla de mezcla semiconductor extruída de 25 mm², y recubierta de un termoplástico de poliolefina sin clorar. Poseerá una resistencia máxima a 105 °C de 0,11 Ω/km, y una capacidad de 0,4 μF/km.

Por otra parte, se encuentra el hilo de alimentación: el hilo de contacto se compone de dos hilos al descubierto, de una aleación Cu-Mg, de 150 mm² de sección –Tabla 7-2–, sostenido por un hilo de soporte, de la misma aleación, de 120 mm² de sección –Tabla 7-3–.

Posterior a este punto, se especifican los apartados concernientes a la colocación de las estructuras indispensables para el funcionamiento eléctrico, esto es, la especificación de los soportes a instalar, y la definición geométrica de la catenaria.

• Soportes y ménsulas

Se entienden por estos términos a las estructuras que sostienen el tendido eléctrico que alimenta a los vehículos que circulan por debajo. Durante los sucesivos proyectos que han tenido lugar con el uso de esta tecnología, su diseño y construcción han evolucionado, como se muestra en el Cuadro 7-1 a Cuadro 7-3.

Tabla 7-2: Características del cableado de alimentación.

Fuente: ADIF

CARACTERÍSTICAS	HC 107	HC 120	HC 150
	BC-107/CuETP	BC-120/CuETP	BC-150/CuETP
Sección nominal mm ²	107	120	150
Diámetro nominal mm	12,24	12,85	14,50
Peso lineal kg/m	0,951	1,067	1,334
Carga de rotura kN [kg]	38,5 kN [3928 kg]	43,2 kN [4408 kg]	54,0 kN [5510 kg]
Resistencia óhmica Ω/km	0,171	0,153	0,122
Coefficiente seguridad mínimo	2,5	2,5	2,5



Cuadro 7-1: Diseño de soporte y ménsula en los proyectos ENUBA.

Izquierda: prototipo de poste, en la que se incluye el sistema pasivo de seguridad.

Derecha: detalle con el feeder, en diseño de doble pértiga.

Fuente: Siemens



Cuadro 7-2: Diseño en doble brazo, utilizado en Los Ángeles.

El diseño así construido, permite el ahorro de espacio dentro de la infraestructura, así como de coste, al utilizar un único soporte para ambos sentidos, en vez de utilizar uno por dirección.

Fuente: Siemens



Cuadro 7-3: Soportes empleados en Hesse.

Izquierda: el diseño, heredado del prototipo del Cuadro 7-1, se ha simplificado, reduciendo el estrés de los materiales empleados, y permitiendo una mayor modularidad de la ménsula, para ser usada en distintas aplicaciones.

Derecha: detalle de la ménsula; posee dos brazos independientes, al estar en una zona de transición de secciones eléctricas. Como se aprecia en la derecha de la imagen, se trata de dos soportes independientes, unidos entre sí.

Fuente: Siemens



Los cimientos de la ménsula están formados por largos tubos de acero con un diámetro de 0,6 m, con un sistema de puesta a tierra. El soporte (Cuadro 7-3) está construido a base de acero galvanizado. Los cables de contacto de ambas fases se colocan a una altura de 5,15 m por encima de la calzada. La altura entre el brazo y los hilos de alimentación es de 1,70 m. En condiciones normales, los postes estarán separados cada 55 metros.

• Diseño de la catenaria

Otro aspecto a resolver con detalle es el de la caracterización geométrica del conjunto del hilo conductor y sustentador; la catenaria. Ésta ha de situarse a una altura considerable de la calzada, para permitir el paso sin obstáculos de los vehículos de forma normal, pero también ha de estar lo suficientemente bajo como para poder pasar por debajo de los puentes y túneles sin excesiva dificultad.

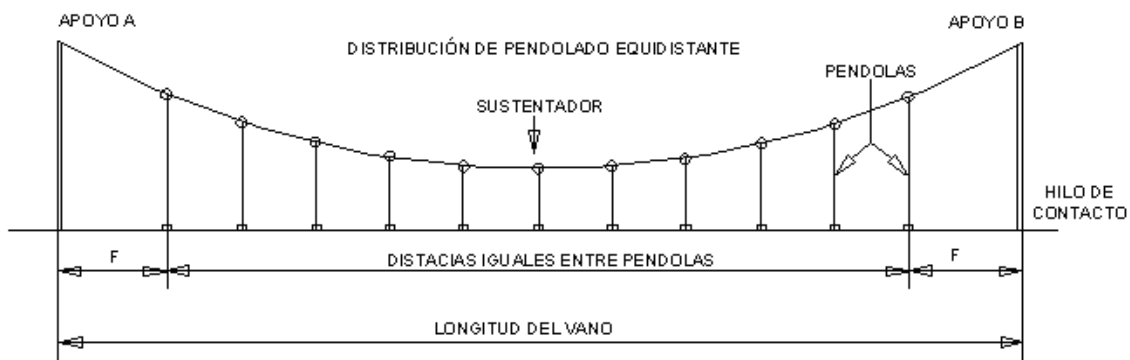


Gráfico 7-5: Geometría de la catenaria en tramo recto.

(Elaboración del autor)

En el Gráfico 7-5 pueden observarse los principales componentes de los que se conforma la catenaria, apostándose pues por un diseño de pendolado equidistante: en el caso estudiado, se propone una longitud del vano de 55 metros, apoyos A y B a 1,7 metros del hilo de contacto, y la distancia entre péndolas de 5 metros.

Las características del hilo de contacto se han definido en la Tabla 7-2, en la Tabla 7-3 se especifican los parámetros del sustentador, y en la Tabla 7-4 los de las péndolas usadas.

Tabla 7-3: Características del sustentador.

Fuente: ADIF

CARACTERÍSTICAS	Cu 150	Cu 185	Ac 72
Sección nominal mm ²	147,1	184,5	72,23
Nº de hilos	37	37	19
Estructura	1+6+12+18	1+6+12+18	1+6+12
Diámetro aparente del cable mm	15,75	17,64	11,00
Diámetro de cada hilo mm	2,25	2,52	2,20
Peso lineal kg/m	1,344	1,687	0,563
Carga de rotura kN [kg]	55,9 kN [5710 kg]	67,1 kN [6844 kg]	105,9 kN [10805 kg]
Módulo elástico kg/mm ²	10500	10500	22000
Coefficiente de alargamiento °C ⁻¹	17x10 ⁻⁶	17x10 ⁻⁶	13x10 ⁻⁶
Resistencia óhmica Ω/km	0,126	0,101	2,736
Coefficiente de seguridad mínimo	3	3	3

En tramos curvos, a diferencia de lo que sucede en ferrocarril, se procurará que el hilo de contacto siga una trayectoria suave, en vez de moverse en zigzag, con tal de simplificar el control del pantógrafo, y reducir un posible estrés visual al conductor (Cuadro 7-4, izquierda).

Tabla 7-4: Características de las péndolas

Fuente: ADIF

Tipo de cable	Diámetro en mm	Peso en kg/m
Varilla Cu de Ø 5 mm	5	0,174
Cable de 25 mm ²	5,8	0,234

No obstante, en aquellas zonas en las que esto no sea posible, puede realizarse la configuración en zigzag (Cuadro 7-4, derecha), si bien la longitud de este tramo deberá ser la mínima posible.



Cuadro 7-4: Configuración de la catenaria en tramos curvos.

Izquierda: trayectoria suavizada de la catenaria en una curva, sin zigzag.

Derecha: tramo electrificado con catenaria en zigzag.

Fuente: Siemens

• Aisladores de sección y tensión mecánica de la catenaria

La línea eléctrica está compuesta de una serie de secciones independientes entre sí; tales han de estar aisladas, al estar alimentadas cada una de una subestación diferente. Para ello, se recurren a diferentes soluciones: la primera de ellas consiste en la transición gradual de las catenarias de ambas secciones, corriendo ambas durante un breve espacio de forma paralela. Esto se consigue del modo en el que se ilustra en el Gráfico 7-6.

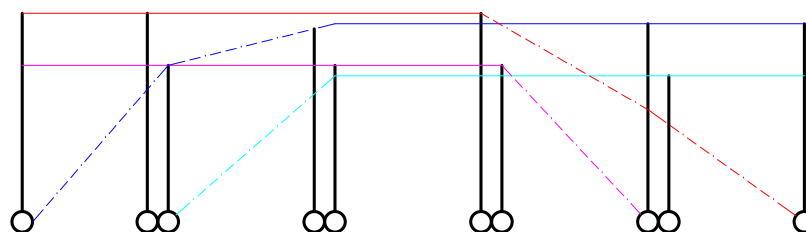


Gráfico 7-6: Esquema de la transición entre dos secciones.

En rojo-magenta, el cableado perteneciente a la sección anterior. En azul-cian, ídem, de la sección siguiente.

(Elaboración del autor)

No obstante, en líneas de trole suele emplearse el elemento aislador de sección; en este elemento, el deslizamiento del pantógrafo se realiza por unos patines, que permiten la no interrupción de la corriente. El lazo que cada patín forma permite que el pantógrafo no encuentre obstáculo al pasar por el elemento, impidiendo arcos eléctricos que pudieran averiar el vehículo. En el Cuadro 7-5 se aprecia su diseño.



Cuadro 7-5: Elemento de aislamiento de sección.

Fuente: Siemens



Cuadro 7-6: Poleas de tensión colocadas en el mástil, al principio de la línea.

Fuente: Siemens

Referente al tensionado de la catenaria; ésta ha de mantenerse lo suficientemente tensa como para que no se desplome por su propio peso, y permita un paso cómodo del pantógrafo por debajo de ella. Para este fin, en los finales de sección, así como al principio y final de la línea, una serie de poleas y polipastos garantizan la tensión mecánica suficiente (Cuadro 7-6).

7.3.2 Adaptación vial

Se entiende como tal a aquellos puntos de la red vial que presentan un especial interés en el estudio, y precisan de una actuación específica para su resolución. Quepan en este sentido los siguientes apartados:

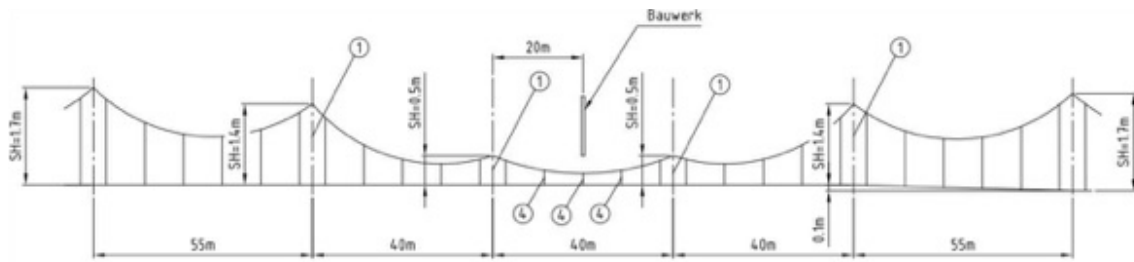
7.3.2.1 Resolución del gálibo

El gálibo es la dimensión máxima de un vehículo de gran envergadura que determina si puede pasar por un túnel o por debajo de un puente o paso elevado. De acuerdo al Reglamento de Circulación, se especifica una altura máxima de cuatro metros, para los vehículos considerados.

En la zona de estudio, existen zonas de 4,80, 4,90 y 5,10 metros de altura máxima disponible (ver apartado 5.2.3.1); la altura estándar del sistema con los hilos de contacto es de 5,15 metros. Si bien se prevé la remodelación de tales zonas con puentes de mayor vano, existen algunas alternativas a considerar para salvar los obstáculos que se presentan.

Éstos son pasos superiores, cuya luz impide que el sistema de catenaria se pueda colocar de forma ordinaria. La opción más sencilla consiste en dejar sin electrificar los trozos de calzada que pasan por debajo de dichos pasos. Si bien el sistema permite la existencia de tramos no electrificados, su demasiada corta longitud puede provocar un inconveniente en la operación de bajada y subida del pantógrafo, así como causar arcos eléctricos si no se deja una separación suficiente entre ambos hilos.

Otra opción consiste en reducir el tamaño de las péndolas y descender la altura disponible entre el hilo de contacto y el suelo, como se muestra en el Cuadro 7-7. El proceso implica una continuidad en el suministro eléctrico y la simplificación de su construcción, a costa de un posible mayor estrés y un desgaste prematuro del cable.



Cuadro 7-7: Diseño de la catenaria bajo un obstáculo.

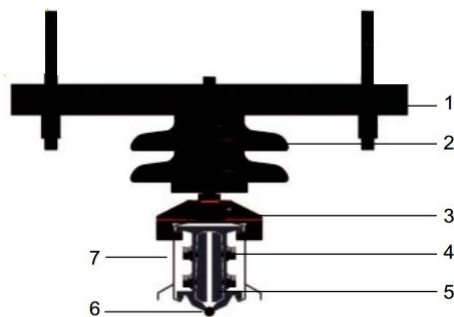
Arriba: esquema de la geometría de la catenaria, bajo un obstáculo. Señalado como Bauwerk (estructura) se encuentra el obstáculo a sortear por el hilo de contacto, resolviéndose con la reducción de tamaño de las péndolas, y el descenso progresivo del sustentador.

Derecha: resolución práctica del diseño: nótese la forma en la que el sustentador se ajusta a la altura máxima disponible.



En aquellas zonas en las que no se pueda reducir la altura del sustentador sin poner en compromiso la estructura a sortear, o por otras razones técnicas, puede recurrirse a instalar en tal punto una catenaria rígida: en vez de un hilo de cobre sujeto por un sustentador, un raíl de aluminio o acero se encarga de encarrilar el hilo de contacto, en la manera que se ilustra en el Cuadro 7-8.

Este método permite minimizar la altura disponible hasta la necesaria para el normal discurrir del pantógrafo por debajo de la estructura, a cambio de un coste mayor con respecto a la solución anterior.



Cuadro 7-8: Catenaria rígida y su implantación bajo un obstáculo.

Izquierda: perfil de una catenaria rígida: el conjunto viga (4, 5, 7) cumple el papel de sustentador del hilo de contacto (6), que es soportado por la estructura auxiliar (1, 3), y el aislador (2).

Derecha: puesta en práctica de la catenaria rígida bajo un paso elevado.

Fuente: Rail System; Hessen Mobil

7.3.2.2 Resolución de la señalización

Otro de los apartados que se ve afectado es la señalización vial; debido a la instalación de cables sobre la calzada, así como de postes y demás elementos sustentadores, las señales ya existentes en la vía pueden verse parcial o totalmente ocluidas, como se observa en el Cuadro 7-9.



Cuadro 7-9: Oclusión de la información contenida en una señal de tráfico.

Fuente: Siemens

En respuesta a este obstáculo, cabe desplazar la señalización a otros lugares, o emplear marcas viales inscritas en la plataforma de la calzada.

Sobre los paneles informativos situados en pórticos sobre la vía, existe la solución de trasladarlos a un lado de la vía, o utilizar alguna de las soluciones planteadas en el apartado anterior.

También se considera necesario la señalización al conductor de la existencia de un tramo electrificado en la calzada, recurriendo para ello a la colocación de carteles informativos a la entrada y salida de la zona electrificada, como se ve en el Gráfico 7-7.



Gráfico 7-7: Señales de inicio y fin de la zona electrificada.

(Elaboración del autor)

7.3.2.3 Resolución de la comunicación entorno-conductor

Mientras que las señales comentadas en el apartado previo sirven al conductor para advertirle de la presencia de un peligro, es igual de necesario avisar al usuario del camión de las acciones de elevar y bajar el pantógrafo, de la existencia de cambios de sección, así como de otra serie de sucesos de los cuales necesita estar informado.

Se plantea por ello la instalación de una interfaz de usuario que muestre de forma no distractora ni invasiva la información necesaria, del modo en el que se muestra en el Cuadro 7-10.



Cuadro 7-10: Ejemplo de la interfaz de usuario entre el entorno y el conductor.

Fuente: Siemens

También, con el fin de evitar los puntos ciegos, y de mejorar la atención y respuesta del conductor del camión, de los proyectos ENUBA se plantea el uso de la realidad aumentada, con los siguientes elementos:

- Gafas de datos con conexión WLAN a un router y un convertidor de datos (codificador).
- Cuatro cámaras analógicas alineadas con la zona de marcha atrás, el punto ciego trasero izquierdo (especialmente en las esquinas derechas), el punto ciego delantero derecho en la cabina del conductor y una cámara para observar el pantógrafo.
- Un codificador para convertir los datos de vídeo analógicos en datos digitales y proporcionar las secuencias de vídeo.
- Cuatro etiquetas QR con las que se pueden activar las diferentes imágenes de la cámara mirándolas brevemente, de modo que se muestren en una sección de las gafas de datos.

Esta tecnología no solo sirve para los usuarios de los camiones; también es útil para aquellas personas que deben estar en contacto con el camión para su mantenimiento y cuidado, para los mecánicos y personal de talleres, véase el Cuadro 7-11.



Cuadro 7-11: Uso de la realidad aumentada en los camiones.

Izquierda: gafas de realidad aumentada empleadas en los proyectos ENUBA.

Derecha: ejemplo de uso en talleres, para la supervisión, mantenimiento y reemplazo de piezas.

Fuente: Microsoft; Siemens

7.3.2.4 Resolución ambiental

Merece hacer mención en este punto a todas aquellas actuaciones relacionadas con el paisaje, la vegetación, la fauna, y la hidrología afectadas por el proyecto, en base a lo comentado en el párrafo dedicado al Impacto ambiental.

Con respecto al paisaje, los daños principalmente realizados afectan de un modo visual, en tanto que la infraestructura colocada es visualmente disonante, aparte de necesitar una cantidad de suelo disponible que, si es mínimo en comparación con la superficie ocupada por la autovía, sigue siendo de especial consideración.

Así, puede proponerse el uso de materiales más amigables y menos disonantes con el medio ambiente; en los soportes de la catenaria, puede utilizarse acero corten o autopatinable, el cual se caracteriza por su gran integración en el paisaje, al adquirir texturas que cambian a lo largo del año, así como ser biocompatible (Cuadro 7-12).



Cuadro 7-12: Uso del acero corten para el soporte de la catenaria.

Es un material que, por un lado permite una mayor integración con el paisaje, y es menos disruptivo visualmente con respecto a otros materiales, como el acero, si bien presenta un mayor coste y cuidado.

Fuente: Mogens Englund

Atendiendo a la cuestión de la vegetación, uno de los principales inconvenientes presentados en el proyecto resulta la pérdida de suelo útil para la construcción de los elementos de la infraestructura, como son las subestaciones de energía, la colocación de los soportes, entre otros.

Se propone, por un lado, realizar los recubrimientos de las estaciones transformadoras con materiales no disruptivos con el medio ambiente; si se aprecia el Cuadro 6-2, arriba a la izquierda, se puede ver cómo se ha construido con una envolvente de madera; debe encontrarse una solución que permita la seguridad de la instalación, a la par que respete el entorno y propicie un lugar donde pueda crecer la vegetación.

También, por otro lado se plantea la revegetación en zonas cercanas al tramo electrificado.

En cuanto a las afecciones provocadas a la fauna y la conectividad territorial, cabe mencionar la propuesta de pasos de fauna⁴⁷ y puentes verdes, como medio para que los animales puedan transitar entre ambos lados de la calzada, sin tener que pasar por ella misma.

Sobre la hidrografía, si la construcción de los elementos constitutivos del sistema eléctrico provoca una alteración de los cursos hídricos, es conveniente realizar una actuación en el medio de tal manera que minimice o compense los daños provocados por dicha acometida, como puede ser la repoblación, la restitución de caudales, escaleras de peces, etc.

En todo momento, en la realización de las obras, así como en la operación del proyecto, deberá existir un Plan de Vigilancia Ambiental que se encargue de velar para que, en relación con el medio ambiente, la actividad se realice según lo acordado y según las condiciones en las que se hubiese autorizado, y se pueda determinar la eficacia de las medidas de protección ambiental propuestas.

7.3.2.5 Resolución de la seguridad vial

Un último apartado en este capítulo se relaciona con la seguridad entre el usuario de la vía y la propia infraestructura. Existiendo un peligro de naturaleza eléctrica subyacente sobre la calzada, es necesario establecer una serie de medidas que minimicen el riesgo de contacto eléctrico por accidente.

⁴⁷ Los pasos de fauna son vías de tránsito que permiten a los animales cruzar infraestructuras tales como autopistas, líneas férreas, etc. Estos pasos pueden ser viaductos (puentes verdes) o túneles. Permiten la cohesión, conexión y conservación de hábitats, y evitan que los animales pasen por la plataforma donde transitan los vehículos, de tal manera que se minimicen las probabilidades de atropello.



Cuadro 7-13: Detalle del guardarraíl Super-Rail VZB instalado a lo largo de la calzada.

Fuente: Siemens

En una autovía, uno de los principales peligros que existen es el de colisión contra el arcén o la mediana; en el desafortunado caso de que ocurra un suceso como tal, un impacto contra un soporte de la catenaria puede provocar el fallo de la estructura, y el contacto de elementos energizados con el suelo, creando un entorno donde puede existir un riesgo eléctrico.

Para evitar este hecho, a lo largo de todo el tramo electrificado un guardarraíl reforzado impide que un vehículo se salga de la calzada, e impacte contra los elementos constitutivos del sistema eléctrico (Cuadro 7-13).

Como segunda línea de defensa, en cada soporte existe un sistema de puesta a tierra automatizado, y en cada sección, la conexión con el sistema de alimentación puede ser cortada a través de un seccionador, de tal manera que cada una de ellas puede ser desconectada de la red, impidiendo que ningún elemento afectado quede bajo tensión en caso de accidente.

Para una mejor respuesta ante sucesos de este calado, puede instalarse un sistema de videovigilancia que permita monitorizar el tráfico y localizar de forma inmediata el lugar de un posible accidente.

8 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Después de definir la tecnología involucrada en el presente estudio, sus posibles alternativas, el medio en el que se quiere implantar, la relación entre la solución planteada y el entorno, y sus necesarios requisitos para su puesta en práctica, cabe necesario señalar una serie de datos como conclusión del presente estudio:

- En primer lugar, la tecnología que se menciona, como alternativa al uso de camiones de propulsión térmica, está aún en desarrollo e investigación; el empleo de la **hibridización** en vehículos es bastante popular en turismos y pequeños vehículos, pero precisa de una mayor repercusión dentro del ámbito de los vehículos pesados. Las propuestas descritas en el presente estudio, a la fecha de su realización, son las que están a la vanguardia, con diseños que, de diferentes maneras, abordan la cuestión de introducir el componente eléctrico en el vehículo, solventando los desafíos, ya comentados previamente, que ello conlleva.
- Para resolver los inconvenientes que implica la electrificación de un vehículo pesado, la opción preferida por los fabricantes es el de la **remotorización**, convirtiendo el chasis de un tractocamión térmico mediante la instalación de un motor eléctrico adicional, baterías, y colector de corriente. Esta aproximación a la electrificación evita tener que diseñar una cabeza tractora desde cero, y permite utilizar vehículos ya existentes, para su adaptación al ERS construido.
- Sobre la infraestructura que permite la alimentación de estos vehículos, se observa que hay diversas propuestas que se acomodan a la calzada ya construida, bien sea sobre o debajo de ésta; de todas las opciones analizadas, se concluye que la más viable es la **línea aérea de contacto**, véase la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Comparación de las alternativas para la infraestructura existente.

(Elaboración del autor)

	Línea aérea de contacto	Conductor soterrado	Alimentación por inducción
Adaptación a la calzada	Bueno	Malo	Malo
Coste de instalación	Económico	Costoso	Altamente costoso
Interés empresarial y gubernamental	Gran interés	Interés medio	Bajo interés
Impacto visual	Medio	Medio	Bajo
Seguridad vial	Muy alto	Alto	Medio

- En el apartado relativo a la infraestructura, se concluye que la solución óptima para su instalación en un entorno real implica su construcción en **vías de alta capacidad**, como autovías y autopistas, en donde existe un espacio lo suficientemente amplio como para albergar la aparamenta eléctrica, como ménsulas, soportes, cableado, etc. Por esta misma razón, su uso no se contempla a priori en entornos urbanos, o en carreteras de menor capacidad.

- Haciendo hincapié en el aspecto económico del desarrollo de las alternativas presentadas, se deduce que, aunque la utilización de camiones térmicos constituye una inversión con el mayor retorno, el empleo de las unidades electrificadas mediante línea aérea de contacto, en conjunción con la tecnología de baterías y el uso de un motor auxiliar de combustión, ofrece un **mayor valor actual**, como se aprecia en el capítulo referente al análisis de alternativas. Como se puede ver, mientras que la alternativa cero ofrece un VAN estimado en 7 322 024,66 EUR, con un TIR del 15%, la Alternativa I, que emplea la línea aérea, ofrece un VAN mayor, de 11 428 295,80 EUR, con un TIR del 11%. Estos números se traducen en que, si bien la primera opción es más atractiva en términos de retorno de la inversión, el beneficio final es menor que si se emplea la opción eléctrica; esto es debido a menores gastos por mantenimiento, combustible, etc., que permiten un mayor margen de beneficios para esta última alternativa.
- Por otro lado, el empleo de las tecnologías de alimentación por conductor soterrado o por inducción, debido a su alto coste inicial necesario para la construcción de la infraestructura, hacen que su inversión sea desaconsejable, como se refleja en el indicador económico de un VAN negativo.
- Otro de los aspectos a comentar es el relativo al **impacto ambiental** que implica la construcción de estos sistemas dentro del medio; todas las opciones contempladas tienen unos impactos semejantes, relativos a movimientos de tierras, ocupación del suelo, o ruptura de la conectividad territorial, entre otras cuestiones. No obstante, dichos impactos, considerados de una forma global, pesan menos que el empleo de camiones térmicos, y, en general, propician una mejora neta de la calidad del medio, al reducir la cantidad de gases contaminantes emitidos por los camiones y la cantidad de ruido generado por éstos.
- De ello se deduce que, para causar el menor impacto posible, no es sólo necesario emplear la electricidad para reducir al máximo las emisiones de gases, sino que ha de confiarse en otras tecnologías, como el empleo de **baterías**, así como **biocombustibles**, para conseguir la máxima eficiencia en la minimización de los impactos negativos. La utilización de camiones con estas tecnologías implica a su vez un menor gasto, en tanto que las baterías permiten la continuación del uso del motor eléctrico fuera de los tramos en tensión, y cuando éstas se agotan, el motor térmico, alimentado con biodiesel, permite unas emisiones más comedidas con respecto al diésel estándar.
- Otro de los apartados que caben destacar es el del **aspecto social**; la instalación de un sistema como el comentado en el presente estudio supone un desafío que implica conciliar los intereses empresariales, gubernamentales, y de la sociedad en su conjunto. Para la realización de esta solución, de lo que se deduce en la matriz de rastreo es (véase la p.140) que la construcción y operación de un ERS basado en una línea aérea de contacto supone una ventaja sobre el resto de opciones (una mejora global del 5,87% con respecto al empleo de camiones térmicos convencionales, y de 1,87 puntos sobre dicha opción en el aspecto social), lo que indica un crecimiento del nivel de calidad del medio en término promedio no sólo sobre la solución convencional, sino sobre el resto de opciones.

- Como última parte, un sistema viario electrificado, como el comentado en el presente estudio, es el más idóneo para el transporte de mineral, pero no sirve solamente para tal fin. La infraestructura también puede ser utilizada para el transporte lanzadera de mercancías entre puertos, de bienes entre puntos de producción y consumo, o unirse a una red de autovías eléctricas para conformar un sistema de alimentación para el transporte de mercancías a larga distancia. La remotorización de camiones, junto con una instalación dimensionada para un uso creciente a lo largo del tiempo, puede optimizar el uso de este sistema, contribuyendo a su éxito tanto económico, como social, ambiental y técnico.

En resumen de lo detallado, la electrificación de una autopista supone un reto principalmente de naturaleza técnica y tecnológica, pero sobre todo una cuestión sociopolítica y económica; para su consecución, es necesario confluir las sinergias de varios sectores; sólo con una adecuada colaboración de todos los intervinientes y una adecuada gestión del diseño, construcción y operación, puede llevarse a cabo una infraestructura de semejante naturaleza, en el que su éxito supone un avance en todos los campos, tanto en el tecnológico, convirtiendo a la región en una zona a la vanguardia de la técnica, como en el ambiental, propiciando un entorno más respetuoso con el medio, reduciendo los impactos, como en el social, mejorando la calidad de la ciudadanía con el uso de camiones más silenciosos, ecológicos, y respetuosos con el entorno, o el económico, atrayendo a inversores y empresas para desarrollar sus actividades en torno a este nuevo sistema viario.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AATOLA, H., LARMI, M., SARJOVAARA, T. y MIKKONEN, S., 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. *SAE International Journal of Engines*, vol. 1, no. 1, pp. 1251-1262. ISSN 1946-3944. DOI [10.4271/2008-01-2500](https://doi.org/10.4271/2008-01-2500).
- [2] *Acuerdo de París* [en línea], 2015. 12 diciembre 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 8 diciembre 2018]. Disponible en: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf.
- [3] ADIF, 2014. *ET 03.359.121.5 - TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE TIPO SECO PARA SUBESTACIONES DE TRACCIÓN DE 3,3 kV DE CORRIENTE CONTINUA*. diciembre 2014. S.l.: Dirección General de Explotación y Construcción.
- [4] AHUMADA, J., 2018. Requejada, un puerto sin salida. *El Diario Montañés* [en línea]. Santander, 6 febrero 2018. [Consulta: 14 abril 2019]. Disponible en: <https://www.eldiariomontanes.es/cantabria/requejada-puerto-salida-20180205210732-ntvo.html>.
- [5] ALBÉ, A. y VIGANÒ, S., 2006. *La filovia dello Stelvio. Storia di dighe e di filovie per trasporto merci in alta Valtellina e nel mondo*. S.l.: Macchione Editore. ISBN 978-88-8340-271-5.
- [6] ALDAMMAD, M., ANANIEV, A. y KALAYKOV, I., 2016. Current Collector for Heavy Vehicles on Electrified Roads: Field Tests. *Journal of Asian Electric Vehicles*, vol. 14, no. 1, pp. 7.
- [7] Anexo H - Mapas de la red gestionada por Adif. [en línea], 2014. S.l.: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. [Consulta: 11 abril 2019]. Disponible en: http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Anexos_mapas.pdf.
- [8] BERLIN, D. y ENGWALL, M., 2018. *Organizing ERS Projects: Implications for Demonstrations and Deployments - A Comparative Stakeholder Analysis of the Swedish ERS-Projects eRoadArlanda and eHighway E16*. KTH Royal Institute of Technology: s.n. ISBN 978-91-7729-845-8.
- [9] BOMBARDIER TRANSPORTATION, 2013. *Introducing true electric mobility for a sustainable future: PRIMOVE - true e-mobility* [en línea]. 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 27 febrero 2019]. Disponible en: http://primove.bombardier.com/fileadmin/primove/content/MEDIA/Publications/BT_Brochure_PRIMOVE_210x280_2013_final_upd_110dpi_SP.pdf.
- [10] Cálculo de la relación Beneficio Coste (B/C) - GestioPolis. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: <https://www.gestipolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>.
- [11] Cantabria 102 Municipios. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 30 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.cantabria102municipios.com/>.
- [12] CANTERAS, J.C., 2018. Estudio Ambiental Estratégico del Plan Regional de Ordenación Territorial de Cantabria. . Santander: Gobierno de Cantabria.
- [13] CENDRERO, A., DÍAZ DE TERÁN, J.R., FLOR, E., FRANCÉS, E., GONZÁLEZ, J.R. y MARTÍNEZ, J.M., 1986. *Guía de la naturaleza de Cantabria*. 1ª. Santander: Estvdio. ISBN 84-87934-21-8.
- [14] CLEMENTE, M. y GABBIONETA, C., 2017. How Does the Media Frame Corporate Scandals? The Case of German Newspapers and the Volkswagen Diesel Scandal. *Journal of Management Inquiry*, vol. 26, no. 3, pp. 287-302. ISSN 1056-4926. DOI [10.1177/1056492616689304](https://doi.org/10.1177/1056492616689304).
- [15] Climate Data: Tiempo en cantabria. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 3 mayo 2019]. Disponible en: <https://es.climate-data.org/europe/espana/cantabria-267/>.

- [16] CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO, 2014. Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020. [en línea]. S.l.: Gobierno de Cantabria. [Consulta: 18 diciembre 2018]. Disponible en: http://www.dgicc.cantabria.es/documents/16626/2533500/PSEC_2014-2020_Julio_2014.pdf/cce75efd-56d7-9d9d-9286-1fad7eec9beb.
- [17] *Cuenca del Pas* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 5 mayo 2019]. Disponible en: <http://dmacantabria.cantabria.es/visorWeb/pdf/RIOS/Pas.pdf>.
- [18] DE DECKER, K., 2009. Electric Road Trains. *Low-Tech Magazine* [en línea]. [Consulta: 11 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.lowtechmagazine.com/2009/07/electric-road-trains-in-germany-1901-1950.html>.
- [19] *eHighway - Innovative electric road freight transport* [en línea], 2017. 2017. S.l.: Siemens AG. [Consulta: 21 febrero 2018]. Disponible en: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public/1500537078.7bcd4aee10a34603eea30c4e8b8941478c164092.ehighway-2017.pdf>.
- [20] El sistema eléctrico español: 2017. [en línea], 2017. S.l.: Red Eléctrica de España. [Consulta: 22 abril 2019]. Disponible en: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2017/inf_sis_elec_ree_2017.pdf.
- [21] ELISA - Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen. *Hessen Mobil - Straßen- und Verkehrsmanagement* [en línea], 2017. [Consulta: 20 julio 2019]. Disponible en: <https://mobil.hessen.de/ELISA>.
- [22] Evaluación de Proyectos de Inversión. , [sin fecha]. pp. 15.
- [23] GOITIA DE GUSTÍN, A., 2017. *Construcción del tercer carril en la A-67* [en línea]. Trabajo Final de Master. Santander: Universidad de Cantabria. [Consulta: 29 marzo 2017]. Disponible en: <http://catalogo.unican.es/cgi-bin/abnetopac/?TITN=404056>. 404056
- [24] Guía de cálculo de la huella de carbono del transporte de mercancías por carretera - 2017. [en línea], 2017. S.l.: AECOC. [Consulta: 3 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.aecoc.es/guias/guia-tecnica-de-calculo-de-la-huella-de-carbono-del-transporte-de-mercancias-por-carretera/>.
- [25] *guia-de-ahorro-energetico-en-talleres-de-automoviles-fenercom.pdf* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 8 junio 2019]. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-ahorro-energetico-en-talleres-de-automoviles-fenercom.pdf>.
- [26] HAEHNSEN, E., 2016. Rouler pour recharger les véhicules électriques. *Agence TCA* [en línea]. [Consulta: 24 febrero 2019]. Disponible en: <http://agencetca.info/rouler-pour-recharger-les-vehicules-electriques-2/>.
- [27] HUTNYAK, D., 2004. Trolley History: Hutnyak Consulting. *Trolley through history* [en línea]. [Consulta: 16 febrero 2019]. Disponible en: <https://hutnyak.com/Trolley/trolleyhistory.html#Riverside>.
- [28] INECO, 2010. Proyecto de Trazado. Autovía A-67. Ampliación de Capacidad. Tramo: Polanco – Santander. Documento para la Información Pública a Efectos de Expropiaciones. . Memoria. Santander: Ministerio de Fomento. T4-S-6050.
- [29] INECO, 2017. Proyecto de Trazado. Autovía A-67 Cantabria – Meseta. Ramal de Continuidad Sierrapando – Barreda y Mejora de los Enlaces de Sierrapando, Barreda y Torrelavega. . Memoria. Santander: Ministerio de Fomento. T2/12-S-5940.
- [30] INEGA, 2011. *Informe sobre el TIEPI en Galicia - Anualidad 2011* [en línea]. 2011. S.l.: s.n. [Consulta: 11 mayo 2019]. Disponible en: http://www.inega.gal/sites/default/descargas/enerxia_galicia/evolucion_tiepi_1991_2011_castellano.pdf.
- [31] *INFORME_OTLE_2018.pdf* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 9 junio 2019]. Disponible en: http://observatorioptransporte.fomento.es/NR/rdonlyres/6E4A3024-B5BA-4AAD-BE1A-AF04D6A62A6E/151258/INFORME_OTLE_2018.pdf.

- [32] ITGE, 1976. *Memoria del Mapa Geológico de España. E 1:50 000. Hoja 34, Torrelavega*. 1º. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 2. 117168
- [33] ITGE, 1978. *Memoria del Mapa Geológico de España. E 1:50 000. Hoja 35, Santander*. 1º. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 2. 118168
- [34] KELLER, S., 2018. A world of thoughts on Phase 2. *International Council on Clean Transportation* [en línea]. [Consulta: 12 agosto 2018]. Disponible en: <https://www.theicct.org/blogs/staff/a-world-of-thoughts-on-phase-2>.
- [35] KREUTZER, U. y BLOCHER, E., 2014. On the road - with electric power. *Siemens Press Room* [en línea]. [Consulta: 8 febrero 2019]. Disponible en: <https://new.siemens.com/global/en/company/about/history/news/on-the-road-with-electric-power.html>.
- [36] KURANI, K.S. y SPERLING, D., [sin fecha]. Rise and Fall of Diesel Cars: A Consumer Choice Analysis. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, pp. 10.
- [37] La rentabilidad del gas natural requiere 300 gasineras. *El Mundo* [en línea], 2018. 13 abril 2018. [Consulta: 4 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/motor/2018/04/12/5acf2098e5fdeaae638b469c.html>.
- [38] *Ley 24/2013 del Sector Eléctrico* [en línea], 2013. 27 diciembre 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 2 mayo 2019]. 310. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/26/24/con>.
- [39] *Ley 38/2015 del Sector Ferroviario* [en línea], 2015. 29 septiembre 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 2 mayo 2018]. 234. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2015/09/29/38>.
- [40] LONDOÑO PALACIO, O.L., MALDONADO GRANADOS, L.F. y CALDERÓN VILLAFÁÑEZ, L.C., [sin fecha]. *Guía para construir Estados del Arte* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 28 diciembre 2018]. Disponible en: http://colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-322806_recurso_1.pdf.
- [41] LÓPEZ, J.M. y SÁNCHEZ, J., 2008. *Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión*. S.l.: Enertrans. Monografías, 12. ISBN 978-84-89649-45-3.
- [42] MINISTERIO DE FOMENTO, 2019. Catálogo y evolución de la red de carreteras. [en línea]. [Consulta: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://www.fomento.gob.es/carreteras/catalogo-y-evolucion-de-la-red-de-carreteras>.
- [43] MIRA, A., [sin fecha]. *Línea aérea de alta tensión (55 kV) de conexión entre la subestación de Cabezón de la Sal y la Subestación de Reocín (Cantabria)*. Torrelavega: Universidad de Cantabria.
- [44] NELSON, C., [sin fecha]. Is diesel a dirty word? Examining the communication and public relations challenges faced by auto manufacturers who want to introduce small diesel engines to the American market. , pp. 74.
- [45] OLIVEIRA NETO, G.C. de, VENDRAMETTO, O., NAAS, I.A., PALMERI, N.L. y LUCATO, W.C., 2016. Environmental impact reduction as a result of cleaner production implementation: a case study in the truck industry. *Journal of Cleaner Production*, vol. 129, pp. 681-692. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.03.086.
- [46] OLSSON, O., 2013. Slide In-teknik för kontinuerlig överföring av energi till elektriska fordon. [en línea]. S.l.: Viktoria Swedish ICT. Disponible en: https://www.viktoria.se/sites/default/files/pub/www.viktoria.se/upload/publications/slide_in_conductive_project_report_phase_1_1.pdf. 2013:02
- [47] OLSSON, O., 2014. Slide In-teknik för kontinuerlig överföring av energi till elektriska fordon. [en línea]. S.l.: Viktoria Swedish ICT. [Consulta: 24 febrero 2019]. Disponible en: https://www.viktoria.se/sites/default/files/pub/www.viktoria.se/upload/publications/slide_in_inductive_project_report_phase_1_0.pdf. 2013:02

- [48] *Orden ETU/1282/2017, por el que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2018* [en línea], 2017. 27 diciembre 2017. S.l.: s.n. [Consulta: 2 mayo 2019]. 314. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-15521-consolidado.pdf>.
- [49] *Orden IET/2444/2014, por la que se determinan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2015*, 2014. 26 diciembre 2014. S.l.: s.n. 312.
- [50] *pdfhandler.pdf* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 9 junio 2019]. Disponible en: <https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=TTW103>.
- [51] PEETERS, R. y BAECK, S., 2016. *Electrified Road Freight Transport* [en línea]. diciembre 2016. S.l.: SIA Partners. [Consulta: 18 febrero 2019]. Disponible en: http://transport.sia-partners.com/sites/default/files/7_insight_electrified_road_freight_transport.pdf.
- [52] *PIC.pdf* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 7 junio 2019]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14133/PIC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [53] Plan de Sostenibilidad Energética de Cantabria 2014-2020. [en línea], 2010. Santander: Gobierno de Cantabria. [Consulta: 22 abril 2019]. Disponible en: http://dgicc.cantabria.es/documents/16626/2533500/PSEC_2014-2020_Julio_2014.pdf/cce75efd-56d7-9d9d-9286-1fad7eec9beb.
- [54] Puerto de Santander. [en línea], 2019. [Consulta: 14 abril 2019]. Disponible en: www.puertodesantander.es.
- [55] QIAN, L., 2013. Simplified topology for trolley assist-capable electric drivetruck. US2013/0325226A1. Peoria, Illinois. US2013/0325226A1. 13/487,455
- [56] *Real Decreto 1514/2018, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento General de Circulación, aprobado por el Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre* [en línea], 2018. 29 diciembre 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 12 abril 2019]. 314. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/12/28/1514>.
- [57] REID, J.S., 2007. *Robert Davidson – pioneer electrician* [en línea]. 2007. S.l.: s.n. [Consulta: 6 febrero 2019]. Disponible en: <https://homepages.abdn.ac.uk/npmuseum/Scitour/Davidson.pdf>.
- [58] RUBIO, G., 2017. El corredor de altas prestaciones Palencia-Santander situará Madrid a tres horas de la capital cántabra. *Vía Libre* [en línea], [Consulta: 10 abril 2019]. Disponible en: https://www.vialibre-ffe.com/pdf/VL_618_Palencia_Santander.pdf.
- [59] RUDGARTSER, M.I., 2019. Experiences with planning and construction of the ELISA pilot site / eHighway Hessen. , pp. 5.
- [60] SCANIA, 2018. *G 450/500 6x4 Prime Mover*. 27 septiembre 2018. S.l.: s.n.
- [61] Scania Begins Electric Road Trials in Italy. [en línea], 2018. [Consulta: 24 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.oemoffhighway.com/trends/electrification/press-release/21023326/scania-ab-scania-begins-electric-road-trials-in-italy>.
- [62] Scania R450 A4X2NA | NGS | NAVI | Cabeza tractora | SCANIA Truck Center Benelux. *www.trucksnl.com* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.trucksnl.com/es/de-ocasion-scania-r450-a4x2na-ngs-navi-4860153-vd>.
- [63] Scania R450, coto al consumo. *SoloCamion.es* [en línea], 2017. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://solocamion.es/scania-r450-coto-al-consumo/>.
- [64] Scania trucks to be employed in German eHighway research project. *PMV Middle East* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.pvmiddleeast.com/equipment/vehicles/71210-scania-trucks-to-be-employed-in-german-ehighways-research-project>.
- [65] SERRERA, J., 2017. La resurrección de Reocín. *El Diario Montañés* [en línea]. Santander, 1 febrero 2017. [Consulta: 9 abril 2019]. Disponible en: <https://www.eldiariomontanes.es/torrelavega-besaya/201702/01/resurreccion-reocin-20170131233027.html>.

- [66] Seve Ballesteros-Santander Airport. [en línea], 2018. S.l.: AENA. [Consulta: 19 abril 2019]. Disponible en: <http://www.aena.es/csee/ccurl/391/469/Santander%20Airport%202018%20web.pdf>.
- [67] SIEMENS y BMU, 2012. Abschlussbericht zum Förderprojekt ENUBA. . Alemania: Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 16EM0077.
- [68] SIEMENS y BMU, 2016. Schlussbericht der Verbundforschungspartner Siemens AG, TU Dresden und DLR. . Alemania: Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 16EM1010.
- [69] *tarifas-electricas-para-empresas.pdf* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: <https://www.edpenergia.es/recursos/doc/portal-clientes/20130827/precios/tarifas-electricas-para-empresas.pdf?>
- [70] *tarifas_reguladas_oct_2018.pdf* [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: [https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/tarifas_reguladas_o](https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/tarifas_reguladas_oct_2018.pdf)
[ct_2018.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/tarifas_reguladas_o).
- [71] Tasa de inflación mensual UE-28 2018-2019 | Estadística. *Statista* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/636540/tasa-mensual-de-inflacion-mensual-en-la-union-europea/>.
- [72] Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA). *Agroproyectos* [en línea], 2014. [Consulta: 11 junio 2019]. Disponible en: <https://www.agroproyectos.org/que-es-la-trema/>.
- [73] The Future of Trucks. *IEA Webstore* [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 junio 2019]. Disponible en: <https://webstore.iea.org/the-future-of-trucks>.
- [74] Towards a «zero impact» eHighway. *Scania Press Room* [en línea], 2018. [Consulta: 24 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.scania.com/group/en/towards-a-zero-impact-ehighway/>.
- [75] Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050 - Recomendaciones para la transición. , 2017. S.l.: Monitor Deloitte.
- [76] UNE-HD 621-3E:1997 - Cables de distribución de media tensión aislados con papel impregnado. Parte 3: Cables aislados con papel impregnado, unipolares o reunidos en hélice visible. Sección E: Cables unipolares de 12/20 kV y 18/39 kV., [sin fecha]. HD 621-3E:1997. Madrid. HD 621-3E:1997.
- [77] VARGAS, J.J.T. y ARISTIZÁBAL, M.A.A., 2016. ANÁLISIS BENEFICIO – COSTO DE LA ADQUISICIÓN DE UNA FLOTA DE TRANSPORTE ENCARGADA DE LA OPERACIÓN LOGÍSTICA ENTRE BARRANQUILLA Y BOGOTÁ PARA LA COMPAÑÍA CORPACERO SAS. , pp. 64.
- [78] VEYRUNES, P., DUPRAT, P. y HOURTANE, J., 2017. Ground-level feeding systems from rail to road. *2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*. S.l.: s.n., pp. 1-4. DOI 10.1109/ITEC-AP.2017.8080778.
- [79] VIEDMA, M., 2005. El régimen de vientos en la Cornisa Cantábrica. *Nimbus*, vol. 15-16, pp. 203-222. ISSN 1139-7136.
- [80] VV.AA., 2010. *Geología de España*. S.l.: Instituto Tecnológico Geominero. ISBN 978-84-7840-546-6.
- [81] VV.AA., 2011. La energía en Cantabria en un marco globalizado. [en línea]. S.l.: Universidad de Cantabria. [Consulta: 21 abril 2019]. Disponible en: https://web.unican.es/departamentos/diee/Documents/Info%20Dpto/LIBRO_ENERGIA.pdf.
- [82] WAURI, D. y BOLTZE, M., 2019. ELISA – Initial Analyses of Impacts of the eHighway System on Traffic Flow. , pp. 5.
- [83] WRIGHT, P.D., [sin fecha]. A cross-national, comparative analysis of public understanding of, and attitudes towards nuclear, renewable and fossil-fuel energy sources. , pp. 14.

- [84] Zwischen Frankfurt und Darmstadt: Teststrecke für E-Lastwagen auf A5 bald fertig. [en línea], 2018. [Consulta: 24 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.op-online.de/hessen/zwischen-frankfurt-darmstadt-teststrecke-e-lastwagen-bald-fertig-10102690.html>.